



TUGAS AKHIR (RC14-1501)

MODIFIKASI PERENCANAAN GEDUNG RUMAH SAKIT UMUM DAERAH (RSUD) KOJA JAKARTA DENGAN METODE PRACETAK

TRIE SONY KUSUMOWIBOWO
NRP 3112 100 050

Dosen Pembimbing
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR (RC14-1501)

**MODIFIKASI PERENCANAAN GEDUNG RUMAH
SAKIT UMUM DAERAH (RSUD) KOJA JAKARTA
DENGAN METODE PRACETAK**

**TRIE SONY KUSUMOWIBOWO
NRP 3112 100 050**

**Dosen Pembimbing
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT (RC14-1501)

PLANNING MODIFICATION OF KOJA JAKARTA'S PUBLIC HOSPITAL USING PRECAST METHOD

TRIE SONY KUSUMOWIBOWO
NRP 3112 100 050

Advisor
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

**MODIFIKASI PERENCANAAN RUMAH SAKIT
UMUM DAERAH (RSUD) KOJA JAKARTA DENGAN
METODE PRACETAK**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Struktur
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

TRIE SONY KUSUMOWIBOWO

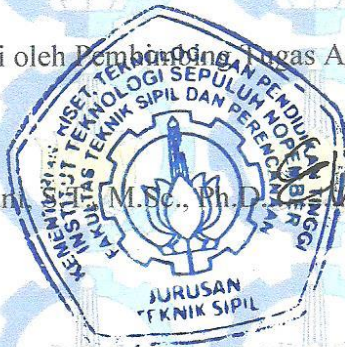
NRP. 3112 100 050

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Endah Wahyuni

M.Sc., Ph.D.

(Pembimbing I)



**SURABAYA
JANUARI, 2017**

MODIFIKASI PERENCANAAN GEDUNG RUMAH SAKIT UMUM DAERAH (RSUD) KOJA JAKARTA DENGAN METODE PRACETAK

Nama Mahasiswa : Trie Sony Kusumowibowo
NRP : 3112100050
Jurusan : S1 Teknik Sipil FTSP ITS
Dosen Pembimbing : Endah Wahyuni, ST, MSc, PhD

Abstrak

Metode pracetak saat ini telah banyak digunakan dalam pembangunan konstruksi sipil. Hal ini terjadi karena beton pracetak memiliki beberapa kelebihan dibandingkan beton yang dicor di tempat (*cast in situ*). Kelebihannya antara lain yaitu proses pembuatannya yang tidak bergantung cuaca, tidak memerlukan banyak bekisting, waktu pengerjaan yang lebih singkat, kontrol kualitas beton lebih terjamin serta menurut penelitian terbaru beton pracetak juga ramah lingkungan.

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah menghasilkan perencanaan struktur gedung RSUD Koja Jakarta dengan metode pracetak. Merencanakan *detailing* penulangan dan sambungan pada elemen beton pracetak. Merencanakan struktur *basement* dan pondasi yang menopang gedung. Dan merancang gambar teknik dari hasil modifikasi gedung ini.

Gedung RSUD Koja Jakarta ini dirancang ulang menggunakan metode pracetak pada bagian balok dan pelat. Standar yang digunakan dalam perencanaan ini adalah perencanaan struktural menggunakan tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung (SNI 2847:2013), untuk menghitung pembebanan gravitas menggunakan PPIUG 1981 dan tata cara perhitungan pembebanan untuk gedung (SNI 1727:2013), dan pembebanan gempa dihitung menggunakan tata cara perencanaan ketahanan gempa (SNI 1726:2012). Perencanaan

gedung ini menggunakan sistem ganda (*dual system*), beban lateral 25% dipikul oleh rangka dan 75% dipikul oleh dinding geser.

Hasil dari modifikasi gedung RSUD Koja Jakarta ini meliputi ukuran balok induk 50/70, ukuran balok anak 30/50, dan 2 macam ukuran kolom yaitu lantai 1-10 90x90 cm dan lantai 11-20 80x80 cm. Modifikasi gedung ini juga menggunakan shearwall dengan tebal 40 cm yang berfungsi menahan 75% beban lateral. Sambungan antar elemen bracetak menggunakan sambungan basah dan konsol pendek

Kata Kunci : Pracetak, Gedung RSUD Koja, Modifikasi Perencanaan, Beton Bertulang

PLANNING MODIFICATION OF KOJA JAKARTA'S PUBLIC HOSPITAL USING PRECAST METHOD

Name : Trie Sony Kusumowibowo
NRP : 3112100050
Department : S1 Teknik Sipil FTSP ITS
Advisor : Endah Wahyuni, ST, MSc, PhD

Abstract

Precast method nowadays has been used in many civil constructions. The precast concrete has advantages to be compared to cast in situ concrete. The advantages of using the precast concrete are firstly the process of concrete casting is not influenced by weather; secondly, it does not need a lot of formworks, efficiency of times, and better quality controls; thirdly, a new research stated that using precast concrete is eco friendly.

The purpose of this final project is to design of a structure plan of RSUD Kojakarta building with precast method. The objective of this project to design the detail of the concrete's reinforcement, the connection between precast element, the basement's structure and the foundation that support the building. Finally to draw the result of the modification of the building.

RSUD Kojakarta building was planned using precast method for the beams and the slabs, whereas the columns, shearwalls, stairs, and footing were planned using the cast in situ concrete. The regulation that were used for this planning are SNI 2847:2013 for the structural concrete planning, PPIUG and SNI 1727:2013 for the gravity loads, SNI 1726:2012 for the lateral (earthquake) loads. This building was planned using dual system with special moment resisting frame that can withstand 25% of the lateral loads, and shearwall that can withstand 75% of the lateral loads.

The results of the design modification of the RSUD Kojakarta building were primary beams dimension of 50/70,

secondary beams dimension of 30/50, and 2 type of column's dimension, with on the 1st-10th floor were using 90x90, while on the 11st-20th floor were using 80x80. This building also used a shearwall with thickness of 40 cm. The connection between precast element used wet joints and brackets.

Keywords : Precast Concrete, RSUD Koja Building, Planning Modification, Reinforced Concrete

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadapan Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkah dan rahmat-Nyalah Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.

Dalam penyelesaiannya sudah tentu penulis banyak mendapatkan kesulitan, namun atas bantuan banyak pihak, Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Untuk itu, pada kesempatan kali ini, izinkanlah penulis untuk menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini
2. Orang tua serta keluarga yang selalu memberikan dukungan kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Endah Wahyuni ST., M.Sc., PhD., selaku dosen pembimbing yang telah membimbing, memberi pelajaran, juga motivasi kepada penulis dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Techn. Pujo Aji, ST., MT. selaku Dosen Wali penulis
5. Teman – teman Teknik Sipil yang telah mendukung dan memberi semangat dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Seluruh dosen Jurusan Teknik Sipil ITS yang telah memberi ilmunya, seluruh staff dan karyawan Jurusan Teknik Sipil ITS, juga semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Penulis sadari bahwa Tugas Akhir yang telah dibuat masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran sangat dibutuhkan dalam penyempurnaan Tugas Akhir ini. Penulis berharap laporan yang telah dibuat ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan khususnya bagi penulis sendiri.

Akhir kata, penulis sebagai penyusun memohon maaf jika ada kesalahan dalam penulisan dan pengolahan data proposal ini. Atas perhatian pembaca, penulis sampaikan terima kasih.

Surabaya, ... Desember 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Tugas Akhir	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Umum.....	5
2.2 Sistem Struktur Gedung	5
2.3 Konstruksi Tahan Gempa	5
2.4 Sistem Pracetak pada Gedung	6
2.4.1 Elemen Pracetak.....	6
2.4.1.1 Pelat	6
2.4.1.2 Balok.....	8
2.4.1.3 Dinding Geser	8
2.4.1.4 Kolom	9
2.4.2 Sambungan Pracetak	9
2.4.2.1 Sambungan Basah.....	9
2.4.2.2 Sambungan dengan Las dan Baut	10
2.4.3 Titik – Titik Angkat dan Sokongan	11
2.4.3.1 Pengangkatan Pelat Pracetak	11

2.4.3.2 Fase Penanganan Beton Pracetak.....	12
2.5 Struktur <i>Basement</i>	13
BAB III METODOLOGI	15
3.1 Bagan Alir Metodologi	15
3.2 Tahapan dan Metode Perencanaan.....	16
3.2.1 Pengumpulan Data	16
3.2.2 Studi Literatur dan Peraturan	17
3.2.3 Penentuan Kriteria Desain.....	17
3.2.4 <i>Preliminary Design</i>	18
3.2.4.1 Perencanaan Dimensi Pelat.....	19
3.2.4.2 Perencanaan Dimensi Balok Induk dan Balok Anak.....	20
3.2.5 Pembebanan Strukur.....	21
3.2.6 Analisis dan Perencanaan Struktur Sekunder...	25
3.2.6.1 Perencanaan Tulangan Pelat	25
3.2.6.2 Perencanaan Tangga	26
3.2.6.3 Perencanaan Lift	27
3.2.6.4 Perencanaan Balok Anak	27
3.2.7 Analisis Struktur Utama	27
3.2.8 Perencanaan Struktur Utama	27
3.2.8.1 Perencanaan Balok Induk	27
3.2.8.1.1 Perhitungan Tulangan Lentur Balok	27
3.2.8.1.2 Perhitungan Tulangan Geser Balok.....	29
3.2.8.1.3 Kontrol Torsi	30
3.2.8.2 Perencanaan Kolom	31
3.2.9 Perencanaan Sambungan.....	31
3.2.9.1 Sambungan Balok Kolom.....	31
3.2.9.2 Sambungan Balok Induk dan Balok Anak..	33
3.2.9.3 Sambungan Balok Induk dan Pelat	34
3.2.10 Detail Penulangan Sambungan.....	35
3.2.10.1 Geser Horizontal	35

3.2.10.2 Penyaluran Tulangan dalam Tarik	35
3.2.10.3 Penyaluran Tulangan Berkait dalam Tarik	37
3.2.11 Perencanaan <i>Basement</i> dan Pondasi	39
3.2.11.1 Daya Dukung Tiang Vertikal	39
3.2.11.2 Daya Dukung Tiang Horizontal	39
3.2.11.3 Kebutuhan Tiang Pancang	40
3.2.11.4 Perencanaan Terhadap Geser	41
3.3 Gambar Rencana	42
BAB IV PEMBAHASAN	43
4.1 <i>Preliminary Design</i>	43
4.1.1 Umum	43
4.1.2 Data Perencanaan	43
4.1.3 Pembebanan	44
4.1.4 Perencanaan Dimensi Balok	44
4.1.4.1 Dimensi Balok Induk	45
4.1.4.2 Dimensi Balok Anak	46
4.1.5 Perencanaan Tebal Pelat	47
4.1.5.1 Peraturan Perencanaan Pelat	47
4.1.5.2 Data Perencanaan Tebal Pelat Lantai dan Atap	47
4.1.6 Perencanaan Dimensi Kolom	48
4.1.6.1 Beban	49
4.1.7 Perencanaan Tebal Dinding Geser	51
4.2 Perencanaan Struktur Sekunder	51
4.2.1 Perencanaan Pelat	51
4.2.1.1 Data Perencanaan	52
4.2.1.2 Pembebanan Pelat Lantai	52
4.2.1.3 Pembebanan Pelat Atap	53
4.2.1.4 Kombinasi Pembebanan Pelat	54
4.2.1.5 Perhitungan Tulangan Pelat	54

4.2.1.6 Perhitungan Penulangan Pelat Sebelum Komposit	56
4.2.1.7 Penulangan Akibat Pengangkatan.....	59
4.2.1.8 Perhitungan Penulangan Pelat Sesudah Komposit	61
4.2.1.9 Penulangan Stud Pelat Lantai	63
4.2.1.10 Panjang Penyaluran Tulangan Pelat.....	65
4.2.1.11 Perhitungan Tulangan Angkat Pelat	65
4.2.2 Perencanaan Balok Anak Pracetak	69
4.2.2.1 Dimensi Awal	69
4.2.2.2 Pembebanan Balok Anak	70
4.2.2.3 Perhitungan Momen dan Gaya Geser	73
4.2.2.4 Perhitungan Tulangan Lentur dan Geser Balok Anak.....	74
4.2.2.5 Pengangkatan Balok Anak	78
4.2.2.6 Kontrol Lendutan	81
4.2.2.7 Pemutusan Tulangan.....	81
4.2.3 Perencanaan Tangga.....	82
4.2.3.1 Dimensi Awal	82
4.2.3.2 Perhitungan Pembebanan dan Analisis Struktur.....	84
4.2.3.3 Analisa Gaya – Gaya Dalam.....	85
4.2.3.4 Perhitungan Tulangan Pelat Tangga dan Bordes	90
4.2.4 Perencanaan <i>Ramp</i>	95
4.2.4.1 Dimensi Awal	95
4.2.4.2 Perhitungan Pembebanan dan Analisis Struktur.....	96
4.2.4.3 Analisa Gaya – Gaya Dalam.....	97
4.2.4.4 Perhitungan Tulangan Pelat <i>Ramp</i> dan Bordes	101

4.2.5 Perencanaan Balok Lift	
4.2.5.1 Data Perencanaan.....	106
4.2.5.2 Perencanaan Dimensi Balok Lift	108
4.2.5.3 Pembebanan Lift	109
4.2.5.4 Balok Penggantung Lift 30/50	110
4.2.5.5 Balok Penumpu 30/50.....	112
4.3 Permodelan Struktur	114
4.3.1 Umum.....	114
4.3.2 Data – Data Perencanaan.....	115
4.3.3 Perhitungan Berat Struktur	116
4.3.4 Kombinasi Pembebanan	117
4.3.5 Analisis Beban Gempa	118
4.3.5.1 Percepatan Respons Spektrum.....	118
4.3.5.2 Parameter Percepatan Respons Spektral	120
4.3.6 Pembebanan Gempa Dinamis.....	122
4.3.6.1 Arah Pembebanan	122
4.3.6.2 Faktor Reduksi Gempa (R)	123
4.3.6.3 Faktor Keutamaan (I).....	123
4.3.7 Kontrol Desain	123
4.3.7.1 Beban Gravitasi.....	124
4.3.7.2 Periode Waktu Getar Alami Fundamental ..	128
4.3.7.3 Koefisien Respons Seismik (Cs).....	130
4.3.7.4 Kontrol Partisipasi Massa	132
4.3.7.5 Kontrol Batas Simpangan antar Lantai (<i>Drift</i>)	133
4.3.7.6 Kontrol Sistem Ganda.....	137
4.4 Struktur Utama	137
4.4.1 Umum.....	137
4.4.2 Perencanaan Balok Induk.....	138
4.4.2.1 Penulangan Lentur Balok Induk	138
4.4.2.2 Penulangan Lentur Balok Induk Melintang	

Sebelum Komposit	139
4.4.2.3 Penulangan Lentur Balok Induk Melintang Setelah Komposit	146
4.4.2.4 Pengangkatan Elemen Balok Induk	162
4.4.2.5 Rekapitulasi Analisis Balok Induk	165
4.4.3 Perencanaan Kolom.....	168
4.4.3.1 Data Umum Perencanaan Kolom	168
4.4.3.2 Kontrol Dimensi Kolom	169
4.4.3.3 Perhitungan Penulangan Kolom	169
4.4.3.4 Kontrol Rasio Tulangan Longitudinal Kolom.....	171
4.4.3.5 Kontrol Kapasitas Beban Aksial Kolom Terhadap Beban Aksial Terfaktor	171
4.4.3.6 Persyaratan “ <i>Strong Column Weak Beam</i> ” ..	171
4.4.3.7 Kontrol Persyaratan Kolom Terhadap Gaya Geser Rencana.....	172
4.4.3.8 Pengekang Kolom.....	174
4.4.3.9 Panjang Lewatan pada Sambungan Tulangan.....	176
4.4.3.10 Rekapitulasi Analisis Penulangan Kolom.	176
4.4.4 Perencanaan Dinding Geser	178
4.4.4.1 Gaya Geser Rencana <i>Shear Wall</i>	179
4.4.4.2 Kuat Aksial Rencana	180
4.4.4.3 Pemeriksaan Tebal Dinding Geser.....	181
4.4.4.4 Kuat Geser Beton.....	181
4.4.4.5 Penulangan Geser Dinding Geser	183
4.4.4.6 Penulangan Geser Horizontal	183
4.4.4.7 Penulangan Geser Vertikal	185
4.5 Perencanaan Sambungan	186
4.5.1 Umum.....	186
4.5.2 Konsep Desain Sambungan.....	188

4.5.2.1 Mekanisme Pemindahan Beban.....	188
4.5.2.2 Klasifikasi Sistem dan Sambungannya.....	190
4.5.2.3 Pola – Pola Kehancuran.....	190
4.5.3 Penggunaan <i>Topping</i> Beton.....	192
4.5.4 Perencanaan Sambungan Balok dan Kolom.....	193
4.5.4.1 Perencanaan Konsol pada Kolom	193
4.5.4.2 Perhitungan Konsol pada Kolom	195
4.5.4.3 Perhitungan Sambungan Balok dengan Kolom.....	198
4.5.5 Perencanaan Sambungan Balok Induk dan Balok Anak.....	199
4.5.5.1 Perencanaan Konsol pada Balok Induk	200
4.5.5.2 Perhitungan Sambungan Balok Induk dan Balok Anak.....	203
4.5.6 Perencanaan Sambungan Pelat dan Balok.....	204
4.5.6.1 Panjang Penyaluran Tulangan Pelat Tipe P1	205
4.6 Perencanaan Dinding <i>Basement</i>	207
4.6.1 Penulangan Dinding <i>Basement</i>	207
4.7 Perencanaan Pondasi	209
4.7.1 Umum.....	209
4.7.2 Data Tanah	209
4.7.3 Spesifikasi Tiang Pancang.....	209
4.7.4 Daya Dukung.....	210
4.7.4.1 Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal	210
4.7.4.2 Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok ...	211
4.7.4.3 Repartisi Beban di Atas Tiang Berkelompok	212
4.7.5 Perhitungan Tiang Pancang.....	212
4.7.5.1 Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal	213
4.7.5.2 Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok ...	215

4.7.5.3 Kontrol Kekuatan Tiang Terhadap Gaya Lateral Interior	217
4.7.6 Perencanaan Poer Kolom	218
4.7.6.1 Penulangan Poer	219
4.7.6.2 Kontrol Geser Pons Kolom Tepi	221
4.7.7 Perencanaan Balok Sloof.....	223
4.8 Metode Pelaksanaan	224
4.8.1 Umum.....	224
4.8.2 Pengangkatan dan Penempatan Crane.....	225
4.8.3 Pekerjaan Elemen Kolom.....	227
4.8.4 Pemasangan Elemen Balok Induk.....	227
4.8.5 Pemasangan Elemen Balok Anak.....	228
4.8.6 Pemasangan Elemen Pelat.....	228
4.8.7 Transportasi Elemen Beton Pracetak.....	229
4.8.8 Metode Pelaksanaan <i>Basement</i>	230
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	233
5.1 Kesimpulan.....	233
5.2 Saran.....	234
DAFTAR PUSTAKA	235
LAMPIRAN	237

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek	18
Tabel 3.2 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 detik	18
Tabel 3.3 Tebal Minimum Balok Non-Prategang atau Pelat Satu Arah bila Lendutan Tidak Dihitung ...	19
Tabel 3.4 Beban Mati pada Struktur	21
Tabel 3.5 Beban Hidup pada Struktur	22
Tabel 3.6 Faktor Pengali Penyaluran Tulangan Tarik	36
Tabel 3.7 Faktor Pengali Penyaluran Tulangan Berkait dalam Tarik	38
Tabel 4.1 Rekapitulasi Dimensi Balok Induk	46
Tabel 4.2 Rekapitulasi Dimensi Balok Anak	46
Tabel 4.3 Rekapitulasi Dimensi Pelat	48
Tabel 4.4 Penulangan Pelat	69
Tabel 4.5 Penulangan Balok Anak setelah Komposit	82
Tabel 4.6 Spesifikasi Lift	107
Tabel 4.7 Koefisien Situs F_a	119
Tabel 4.8 Koefisien Situs F_v	120
Tabel 4.9 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek	121
Tabel 4.10 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik	122
Tabel 4.11 Faktor Keutamaan Gempa	123
Tabel 4.12 Perhitungan Beban Mati	125
Tabel 4.13 Perhitungan Beban Hidup	127
Tabel 4.14 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x	128
Tabel 4.15 Koefisien untuk Batas Atas	128
Tabel 4.16 Modal Periode dan Frekuensi Struktur	129

Tabel 4.17	Gaya Geser Dasar Akibat Beban Gempa	131
Tabel 4.18	Gaya Geser Dasar Akibat Beban Gempa setelah Dikalikan dengan Faktor Skala	131
Tabel 4.19	Rasio Partisipasi Massa	133
Tabel 4.20	Simpangan antar Lantai yang Diizinkan	135
Tabel 4.21	Simpangan antar Lantai yang Terjadi Akibat Beban.....	135
Tabel 4.22	Kontrol Simpangan.....	136
Tabel 4.23	Presentase Gaya Geser yang Mampu Dipikul Sistem Struktur	137
Tabel 4.24	Nilai Mpr Balok Induk	155
Tabel 4.25	Rekapitulasi Analisis Balok Induk	165
Tabel 4.26	Gaya Dalam Kolom.....	169
Tabel 4.27	Rekapitulasi Analisis Penulangan Kolom	176
Tabel 4.28	<i>Output</i> Gaya Dalam Dinding Geser (SAP2000).....	180
Tabel 4.29	Hasil SPT.....	214
Tabel 4.30	Kapasitas Angkat dan Radius <i>Tower Crane</i>	226

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Hollow Core Slab</i>	7
Gambar 2.2	<i>Solid Slab</i>	7
Gambar 2.3	<i>Double Tees</i>	8
Gambar 2.4	<i>Rectangular Beam, L-Beam dan Inverted Tee Beam</i>	8
Gambar 2.5	Sambungan Basah (<i>In-situ Concrete Joint</i>) ..	10
Gambar 2.6	Sambungan dengan Las	10
Gambar 2.7	Posisi Titik Angkat Pelat (4 Buah Titik Angkat)	11
Gambar 2.8	Posisi Titik Angkat Pelat (8 Buah Titik Angkat)	
Gambar 2.9	Tekanan Tanah yang Terjadi di <i>Basement</i>	14
Gambar 2.10	Metode <i>Bottom Up</i>	14
Gambar 3.1	Bagan Alir Metodologi	15
Gambar 3.2	Spektrum Respons Percepatan di Indonesia (S_s)	22
Gambar 3.3	Spektrum Respons Percepatan di Indonesia (S_1)	23
Gambar 3.4	Bagan Beban Angin	25
Gambar 3.5	Sambungan Balok dan Kolom	32
Gambar 3.6	Hubungan Balok Kolom	33
Gambar 3.7	Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak.....	34
Gambar 3.8	Sambungan Antara Balok dengan Pelat.....	35
Gambar 3.9	Detail Kaitan untuk Penyaluran Kait Standar	37
Gambar 3.10	Ilustrasi Pondasi Tiang Pancang	41
Gambar 4.1	Denah Pembalokan	45
Gambar 4.2	Denah Pelat	47
Gambar 4.3	Beban yang Diterima Kolom	49

Gambar 4.4 Pelat yang Ditinjau.....	55
Gambar 4.5 Posisi Titik Angkat Pelat (4 Buah Titik Angkat)	59
Gambar 4.6 Diagram Gaya Geser Horizontal <i>Encamping</i> Komposit	64
Gambar 4.7 Shear Connector pada Pelat	65
Gambar 4.8 Potongan Pelat	65
Gambar 4.9 Posisi Titik Angkat Pelat (4 Buah Titik Angkat)	66
Gambar 4.10 Momen Pengangkatan Pelat Arah Memanjang	66
Gambar 4.11 Momen Pengangkatan Pelat Arah Melintang	67
Gambar 4.12 Balok Anak Sebelum Komposit.....	70
Gambar 4.13 Balok Anak Setelah Komposit.....	70
Gambar 4.14 Distribusi Beban pada Balok Anak Sebelum Komposit	71
Gambar 4.15 Beban Ekvivalen Trapezium.....	71
Gambar 4.16 Momen Saat Pengangkatan Balok Anak.....	78
Gambar 4.17 Letak Titik Pengangkatan	79
Gambar 4.18 Perencanaan Tangga	84
Gambar 4.19 Distribusi Beban pada Tangga	86
Gambar 4.20 <i>Free Body</i> Diagram Gaya – Gaya pada Tangga.....	88
Gambar 4.21 Gaya Lintang (D) pada Tangga.....	89
Gambar 4.22 Gaya Normal (N) pada Tangga.....	89
Gambar 4.23 Gaya Momen (M) pada Tangga.....	90
Gambar 4.24 Perencanaan <i>Ramp</i>	96
Gambar 4.25 Distribusi Beban pada <i>Ramp</i>	98
Gambar 4.26 <i>Free Body</i> Diagram Gaya – Gaya pada <i>Ramp</i>	100

Gambar 4.27	Gaya Lintang (D) pada <i>Ramp</i>	100
Gambar 4.28	Gaya Normal (N) pada <i>Ramp</i>	100
Gambar 4.29	Gaya Momen (M) pada <i>Ramp</i>	101
Gambar 4.30	Ruang Lift	108
Gambar 4.31	Permodelan 3D Struktur Utama.....	115
Gambar 4.32	Peta Harga Ss di Indonesia	118
Gambar 4.33	Peta Harga S ₁ di Indonesia.....	119
Gambar 4.34	Grafik Respons Spektrum Daerah	121
Gambar 4.35	Denah Pembalokan	139
Gambar 4.36	Beban yang Dipikul Balok Anak	140
Gambar 4.37	Beban yang Dipikul Balok Induk	141
Gambar 4.38	Pembebanan pada Balok Induk Sebelum Komposit	142
Gambar 4.39	Beban yang Dipikul Balok Anak	143
Gambar 4.40	Beban yang Dipikul Balok Induk	144
Gambar 4.41	Pembebanan pada Balok Induk Sebelum Komposit	145
Gambar 4.42	Momen saat Pengangkatan Balok Induk.....	162
Gambar 4.43	Letak Titik Pengangkatan	163
Gambar 4.44	Grafik Interaksi antara Aksial dan Momen pada Kolom	170
Gambar 4.45	Grafik Interaksi antara Aksial dan Momen pada Kolom dengan 1,25f _y	173
Gambar 4.46	Denah Dinding Geser.....	179
Gambar 4.47	Panjang Tumpuan Minimum	188
Gambar 4.48	Mekanisme Pemindahan Beton.....	189
Gambar 4.49	Model Keruntuhan	191
Gambar 4.50	Model Sambungan Balok pada Konsol Kolom.....	191
Gambar 4.51	Detail Konsol Pendek	193
Gambar 4.52	Detail Penyaluran Tulangan.....	199

Gambar 4.53	Detail Penyaluran.....	204
Gambar 4.54	Penyaluran Tulangan Pelat	204
Gambar 4.55	Diagram Tegangan yang Terjadi pada Dinding <i>Basement</i>	207
Gambar 4.56	Diagram Gaya Lateral Tiang Pondasi.....	217
Gambar 4.57	Gambar Poer Tipe Po1.....	218
Gambar 4.58	Analisis Poer sebagai Balok Kantilever.....	219
Gambar 4.59	Diagram Interaksi Beban Aksial dan Momen pada Sloof	224
Gambar 4.60	Pemasangan Bekisting untuk Pembuatan Kolom.....	227
Gambar 4.61	Pemasangan Balok Induk Pracetak	227
Gambar 4.62	Pemasangan Balok Anak Pracetak.....	228
Gambar 4.63	Pengecoran <i>Overtopping</i>	228
Gambar 4.64	Dimensi Truk Semi Trailer	230
Gambar 4.65	Pelaksanaan <i>Basement</i> dengan Metode Konvensional.....	231

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di Indonesia, hingga saat ini, telah banyak aplikasi teknologi beton pracetak pada banyak jenis konstruksi dengan didukung oleh sekitar 16 perusahaan spesialis beton pracetak, atau lebih dikenal dengan sebutan *precaster* (Sijabat dan Nurjaman dalam Abduh 2007). Hal ini dilakukan karena semakin besarnya tuntutan pelaksanaan pekerjaan konstruksi yang efisien dan cepat namun harus tetap menjaga ketepatan dan kualitas beton. Metode pracetak memiliki beberapa kelebihan dibandingkan metode cor setempat (*cast in site*). Kelebihan tersebut antara lain adalah metode pracetak tidak membutuhkan tempat penyimpanan material yang luas, waktu pengerjaan yang relatif singkat, kontrol kualitas beton lebih terjamin, tidak memerlukan treatment atau perlakuan khusus, tidak membutuhkan terlalu banyak bekisting dan penopang bekisting, serta praktis dan cepat dalam pelaksanaannya (Toscas 2014).

Weyantadji, et.al., (2008) menyatakan bahwa dalam pemasangan komponen pracetak ada tiga tahap yaitu penulangan saat pengangkatan, penulangan saat beton overtopping belum kering, dan penulangan saat beton overtopping sudah kering. Menurut Wulfram I. Ervianto (2006), bila dibandingkan dengan beton *cast-in place*, beton pracetak mempunyai kualitas yang lebih baik. Hal ini karena hal – hal sebagai berikut: (a) proses produksi dilaksanakan dengan menggunakan mesin, (b) kondisi pabrik yang relative konstan, (c) pengawasan yang lebih cermat, (d) kondisi dari lingkungan kerja yang lebih baik.

Berdasarkan hal di atas, maka dalam tugas akhir ini, penulis melakukan modifikasi perencanaan Gedung Rumah Sakit Umum

Daerah (RSUD) Koja Jakarta. Gedung RSUD Koja Jakarta ini memiliki 16 (enam belas) lantai dan menggunakan metode cor di tempat (*in site*) dalam pemilihan metode konstruksinya.

1.2 Perumusan Masalah

1.2.1 Masalah Utama

Bagaimana merencanakan gedung RSUD Koja Jakarta dengan metode pracetak?

1.2.2 Rincian Masalah

1. Bagaimana *preliminary design* elemen – elemen dari beton pracetak?
2. Bagaimana pembebanan dari bangunan tersebut?
3. Bagaimana analisa struktur dari bangunan tersebut?
4. Bagaimana merancang dimensi elemen – elemen dari beton pracetak?
5. Bagaimana merancang detailing sambungan pada komponen pracetak?
6. Bagaimana menuangkan hasil perhitungan dan perancangan ke dalam gambar teknik?

1.3 Tujuan Tugas Akhir

1. Merancang *preliminary design* elemen – elemen dari beton pracetak
2. Menghitung pembebanan dari bangunan tersebut
3. Menganalisa struktur dari bangunan tersebut
4. Merancang dimensi elemen – elemen dari beton pracetak
5. Merancang detail sambungan pada komponen pracetak
6. Menuangkan hasil perhitungan dan perancangan ke dalam gambar teknik

1.4 Batasan Masalah

1. Tidak memperhitungkan manajemen konstruksi (biaya, waktu)
2. Penggunaan pracetak hanya pada balok dan pelat saja

1.5 Manfaat

Dengan adanya penulisan Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan wawasan khususnya kepada penulis tentang metode pracetak.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Negara Indonesia merupakan salah satu negara terpadat di dunia, setiap tahunnya pertambahan jumlah penduduk terus meningkat. Karena itu dibutuhkan proyek konstruksi yang cepat dan efisien agar tidak mengganggu aktifitas manusia yang ada di sekitar. Dalam perancangan tugas akhir ini Gedung RSUD Koja Jakarta dimodifikasi agar struktur kuat dalam menahan beban yang terjadi dan sesuai dengan kebutuhan setelah modifikasi. Bab ini akan membahas acuan yang digunakan saat proses perancangan.

2.2 Sistem Struktur Gedung

Ada beberapa sistem struktur yang umum digunakan sebagai penahan gaya gempa pada perencanaan gedung. Sistem tersebut adalah Sistem Dinding Struktural, Sistem Rangka Gedung, Sistem Rangka Pemikul Momen, dan Sistem Ganda. Pada Gedung RSUD Koja digunakan sistem ganda. Pemilihan sistem struktur ini tergantung pada lokasi dari gedung tersebut akan dibangun.

Struktur sistem ganda merupakan gabungan sistem rangka pemikul momen dan dinding geser yang bekerja bersamaan menahan beban gempa. Sistem rangka pemikul momen memikul beban gravitasi dan lateral. Sedangkan dinding geser hanya memikul beban lateral.

2.3 Konstruksi Tahan Gempa

Menurut buku Pedoman Teknis Rumah dan Bangunan Gedung Tahan Gempa (2006), ada 3 taraf keamanan minimum untuk bangunan gedung dan rumah tinggal yang masuk dalam kategori bangunan tahan gempa, yaitu yang memenuhi berikut ini:

Bila terkena gempa bumi yang lemah, bangunan tersebut tidak mengalami kerusakan sama sekali

- a. Bila terkena gempa bumi sedang, bangunan tersebut boleh rusak pada elemen-elemen non-struktural, tetapi tidak boleh rusak pada elemen-elemen struktur
- b. Bila terkena gempa bumi yang sangat kuat: bangunan tersebut tidak boleh runtuh baik sebagian maupun seluruhnya; bangunan tersebut tidak boleh mengalami kerusakan yang tidak dapat diperbaiki; bangunan tersebut boleh mengalami kerusakan tetapi kerusakan yang terjadi harus dapat diperbaiki dengan cepat sehingga dapat berfungsi kembali

2.4 Sistem Pracetak pada Gedung

Beton Pracetak terbuat dari beton biasa yang di cetak dalam bentuk spesifik namun tidak dicetak di lokasi dimana beton tersebut akan digunakan. Beton pracetak dicor di bekisting kayu atau baja, dan *dicuring* sebelum dilepas dari bekisting, pada umumnya sehari setelah dicor. Komponen beton pracetak kemudian dikirim ke lokasi proyek (PCI, 2010)

2.4.1 Elemen Pracetak

Komponen pracetak dapat diaplikasikan di berbagai macam struktur. Komponen utama yang menggunakan pracetak adalah :

2.4.1.1 Pelat

Pelat adalah struktur tipis yang dibuat dari beton dengan bidang yang horizontal dan beban yang bekerja tegak lurus dengan bidang tersebut. Pada pelat beton pracetak. Menurut *PCI Design Handbook Precast and Prestressed Concrete* 7th ada beberapa jenis pelat beton pracetak

1. *Hollow Core Slab*

Pelat jenis ini memiliki ukuran yang lebih tebal dibanding *Solid Slab*. Pelat tipe ini biasanya menggunakan kabel pratekan. Keuntungan dari pelat jenis ini adalah lebih ringan, tingkat durabilitas yang tinggi dan ketahanan terhadap api sangat tinggi. Pelat jenis ini memiliki lebar rata-rata 2 hingga 8 feet dan tebal rata-rata 4 inchi hingga 15 inchi



Gambar 2.1 *Hollow Core Slab*

(Sumber: *PCI Design Handbook 7th edition*)

2. *Solid Slabs*

Adalah pelat pracetak dengan tebal pelat lebih tipis dibandingkan pelat pracetak dengan lubang. Keuntungan dari penggunaan pelat ini adalah mudah dalam penumpukan karena tidak memakan banyak tempat. Pelat ini bisa berupa pelat pratekan atau beton bertulang biasa dengan ketebalan dan lebar yang bervariasi. Umumnya bentang dari pelat ini antara 5 hingga 35 feet. Pada perencanaan ini pelat yang digunakan adalah pelat pracetak tanpa lubang



Gambar 2.2 *Solid Slab*

(Sumber: *PCI Design Handbook 7th edition*)

3. *Double Tees dan Single Tees*

Pelat ini berbeda dengan pelat yang sudah dijelaskan sebelumnya. Pada pelat ini ada bagian berupa dua buah kaki sehingga tampak seperti dua T yang terhubung

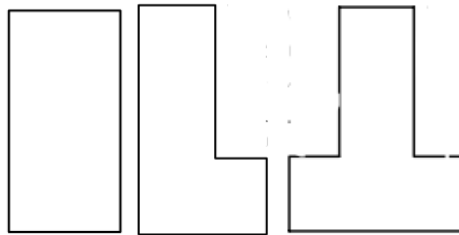


Gambar 2.3 *Double Tees*

(Sumber: *PCI Design Handbook 7th edition*)

2.4.1.2 Balok

Komponen horizontal yang digunakan untuk memikul pelat. Ada 3 tipe balok yang umum digunakan yaitu *rectangular beam*, *inverted tee beams*, dan *L-beams*



Gambar 2.4 *Rectangular Beam, L-Beam dan Inverted Tee Beam*

(Sumber: *PCI Design Handbook 7th edition*)

2.4.1.3 Dinding Geser

Dinding geser digunakan sebagai pengaku struktural. Merupakan dinding inti untuk memperkuat seluruh bangunan dan menahan gaya geser, gaya lateral akibat gempa.

2.4.1.4 Kolom

Kolom berguna sebagai pemikul beban yang berasal dari balok. Dalam tugas akhir ini kolom yang digunakan tidak menggunakan sistem pracetak, melainkan cor di tempat.

2.4.2 Sambungan Pracetak

Cara penyambungan yang dapat dilakukan dibedakan menjadi dua yaitu sambungan basah dan sambungan kering. Masing-masing sambungan mempunyai keuntungan dan kerugian sehingga penentuan jenis sambungan tergantung dari berbagai faktor

2.4.2.1 Sambungan Basah

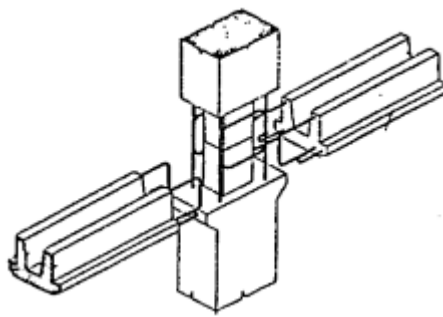
Sambungan basah dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. In-Situ Concrete Joints

Sambungan jenis ini dapat diaplikasikan pada komponen-komponen beton pracetak : kolom dengan kolom, kolom dengan balok, plat dengan balok. Metode pelaksanaannya adalah dengan melakukan pengecoran pada pertemuan dari komponen-komponen tersebut. Sedangkan untuk cara penyambungan tulangan dapat digunakan *coupler* ataupun secara *overlapping*

2. Pre-Packed Aggregate

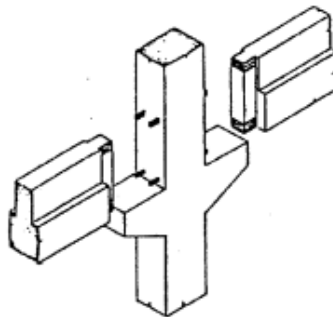
Cara penyambungan jenis ini adalah dengan menempatkan *aggregate* pada bagian yang akan disambung dan kemudian dilakukan injeksi air semen pada bagian tersebut dengan pompa hidrolis



Gambar 2.5 Sambungan Basah (*In-Situ Concrete Joint*)
(Sumber: Eksplorasi Teknologi dalam Proyek Konstruksi)

2.4.2.2 Sambungan dengan Las dan Baut

Alat sambung kering dalam menyatukan komponen beton pracetak menggunakan plat baja yang ditanamkan dalam beton dan ditempatkan pada ujung-ujung yang akan disatukan. Fungsi dari plat baja ini adalah meneruskan gaya-gaya sehingga plat baja ini harus benar-benar menyatu dengan material betonnya.



Gambar 2.6 Sambungan dengan Las
(Sumber: Eksplorasi Teknologi dalam Proyek Konstruksi)

2.4.3 Titik-Titik Angkat dan Sokongan

2.4.3.1 Pengangkatan Pelat Pracetak

Pemasangan pelat pracetak harus diperhatikan bahwa pelat akan mengalami pengangkatan sehingga perlu perencanaan terhadap tulangan angkat untuk pelat dengan tujuan untuk menghindari tegangan yang disebabkan oleh fleksibilitas dari truk pengangkut dalam perjalanan menuju lokasi proyek. Kondisi tersebut menyebabkan terjadinya momen-momen pada elemen pracetak. Pada saat pengangkatan elemen pracetak, dapat menggunakan bantuan balok angkat yang berfungsi untuk menyeimbangkan elemen pracetak pada saat pengangkatan. Jenis titik angkat pada pelat tersebut dijelaskan berikut ini:

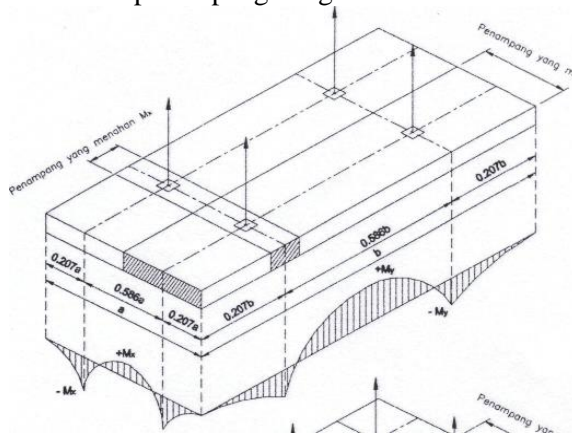
a. Dua Titik Angkat

Seperti terlihat pada Gambar 2.7, maksimum momen (pendekatan):

$$+M_x = -M_y = 0,0107 \cdot w \cdot a^2 \cdot b$$

$$+M_y = -M_x = 0,0107 \cdot w \cdot a \cdot b^2$$

- M_x ditahan oleh penampang dengan lebar yang terkecil dan $15t$ atau $b/2$
- M_y ditahan oleh penampang dengan lebar $a/2$



Gambar 2.7 Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat)

(Sumber: PCI Design Handbook 6th Edition)

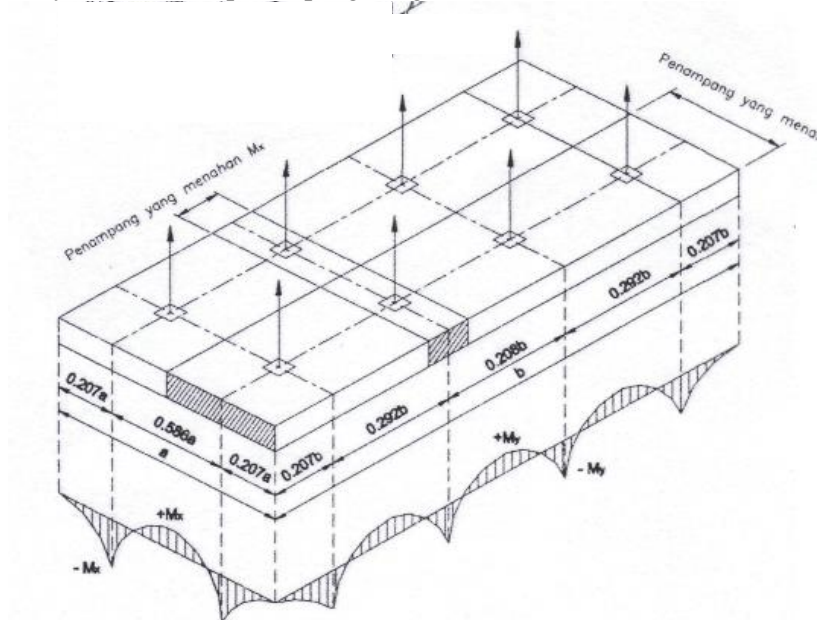
b. Empat Titik Angkat

Seperti terlihat pada Gambar 2.8, maksimum Momen (pendekatan) :

$$+M_x = -M_y = 0,0054 \cdot w \cdot a^2 \cdot b$$

$$+M_y = -M_x = 0,0027 \cdot w \cdot a \cdot b^2$$

- M_x ditahan oleh penampang dengan lebar yang terkecil dan 15t atau $b/4$
- M_y ditahan oleh penampang dengan lebar $a/2$



Gambar 2.8 Posisi titik angkat pelat (8 buah titik angkat)

(Sumber: PCI Design Handbook 6th Edition)

2.4.3.2 Fase Penanganan Beton Pracetak

Sebelum digunakan beton pracetak mengalami fase-fase perlakuan yang meliputi

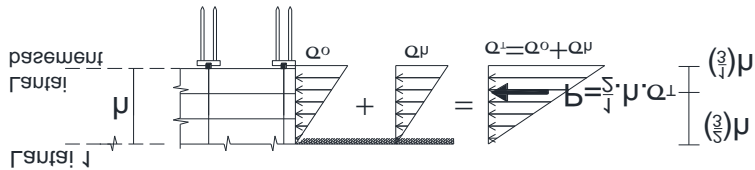
1. Pengangkatan dari bekisting modul (*stripping*)

- a. Orientasi produk dengan macam horizontal, vertikal, atau membentuk sudut

- b. Lekatan permukaan beton dengan bekisting
 - c. Jumlah dan lokasi peralatan angkat
 - d. Berat produk pracetak dan beban-beban tambahan, seperti bekisting yang terbawa saat produk diangkat
- 2. Penempatan ke lokasi penyimpanan (*yard handling and storage*)
 - a. Orientasi produk dengan macam horizontal, vertikal, atau membentuk sudut
 - b. Lokasi titik-titik angkat sementara
 - c. Lokasi sokongan sehubungan dengan produk-produk lain yang juga disimpan
 - d. Perlindungan dari sinar matahari langsung
- 3. Transportasi ke lokasi (*transportation to the job site*)
 - a. Orientasi produk dengan macam horizontal, vertikal, atau membentuk sudut
 - b. Lokasi sokongan vertikal maupun horizontal
 - c. Kondisi kendaraan pengangkut, jalan, dan batas-batas berat muatan dari jalan yang akan dilalui
 - d. Pertimbangan dinamis saat transportasi
- 4. Pemasangan (*erection*)
 - a. Orientasi produk dengan macam horizontal, vertikal, atau membentuk sudut
 - b. Lokasi dan jumlah titik-titik angkat
 - c. Lokasi dan jumlah titik-titik sokongan
 - d. Beban sementara, seperti pekerja, peralatan selama pekerjaan, dan berat beton *overlapping*.

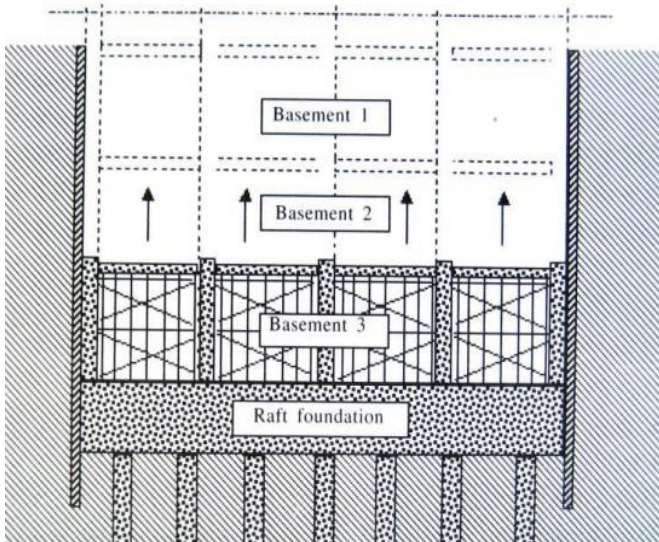
2.5 Struktur *Basement*

Perencanaan dinding *basement* juga difungsikan sebagai dinding penahan tanah. Karena lantai *basement* berada di dalam tanah, maka seluruh dinding luar digunakan pelat beton sebagai penahan tanah. Dinding *basement* mengalami tekanan horizontal yang diakibatkan oleh tanah dan tekanan akibat air di belakang dinding *basement*. Ilustrasi tekanan tanah dapat dilihat pada Gambar 2.9



Gambar 2.9 Tekanan tanah yang terjadi di *basement*

Metode konstruksi galian yang dilaksanakan pada proyek pembangunan *basement* gedung RSUD Koja Jakarta ini menggunakan sistem *Bottom Up* (Gambar 2.10). Pada sistem ini struktur *basement* dilaksanakan setelah seluruh pekerjaan galian selesai mencapai elevasi rencana. Pelat *basement* paling bawah dicor terlebih dahulu, kemudian *basement* diselesaikan dari bawah ke atas, dengan menggunakan *scaffolding*. Kolom, balok, dan pelat di cor setempat (*cast in situ*). Pada sistem ini, galian tanah dapat berupa *open cut* atau dengan sistem dinding penahan tanah yang bisa sementara dan permanen.

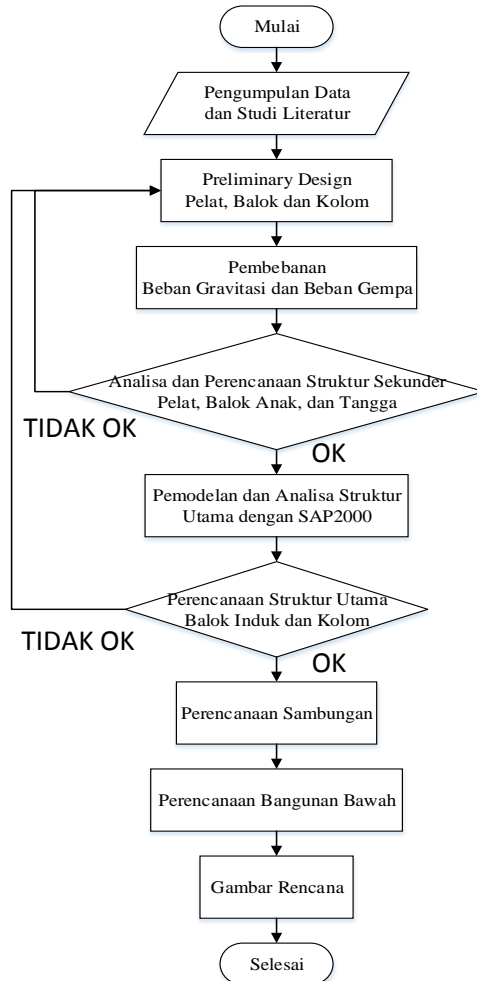


Gambar 2.10 Metode *Bottom Up*

(Sumber: <http://dodybrahmantyo.dosen.narotama.ac.id/>)

BAB III METODOLOGI

3.1 Bagan Alir Metodologi :



Gambar 3.1 Bagan Alir Metodologi

3.2 Tahapan dan Metode Perencanaan

3.2.1 Pengumpulan Data

Mengumpulkan dan mempelajari data – data yang berkaitan dengan modifikasi perencanaan, diantaranya sebagai berikut :

- Data umum gedung sebelum dimodifikasi:

1. Nama Gedung : Rumah Sakit Umum Daerah Koja Jakarta
2. Lokasi : Jakarta
3. Fungsi : Rumah Sakit
4. Jumlah Lantai : 16 (enam belas) lantai dan basement
5. Struktur Utama : Beton bertulang

- Mutu Bahan

Untuk perencanaan, digunakan kuat tekan beton (f'_c) sebesar 30 MPa, sedangkan untuk mutu baja (f_y) digunakan 400 MPa

Bangunan gedung tersebut akan dimodifikasi menggunakan metode beton pracetak dan data bangunan direncanakan sebagai berikut :

- Data umum gedung sebelum dimodifikasi:

1. Nama Gedung : Rumah Sakit Umum Daerah Koja Jakarta
2. Lokasi : Jakarta
3. Fungsi : Rumah Sakit
4. Jumlah Lantai : 20 (dua puluh) lantai dan basement
5. Struktur Utama: Beton bertulang pracetak (non prategang), kecuali kolom, dinding geser dan basement

3.2.2 Studi Literatur dan Peraturan

Mencari literatur yang menjadi acuan dalam pengerjaan tugas akhir ini. Adapun beberapa literatur sesuai dengan bab sebelumnya. Sedangkan peraturan yang digunakan adalah :

- Badan Standarisasi Nasional. 2013. Tata cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013)
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2012)
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. Tata Cara Perhitungan Pembebanan Untuk Bangunan Rumah dan Gedung (RSNI 03-1727-2013)
- Departemen Pekerjaan Umum, 1983. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983)
- Departemen Pekerjaan Umum. 1971. Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI 1971)
- *PCI Design Handbook: Precast and Prestressed Concrete 7th edition* (PCI, 2010)

3.2.3 Penentuan Kriteria Desain

Struktur dengan kategori resiko I, II, atau III yang berlokasi di mana parameter respon spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik, S_1 , lebih besar atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori resiko IV yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada perioda 1 detik, S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F. Gedung RSUD Koja direncanakan akan dibangun di Kota Jakarta. Berdasarkan Tabel 3.1 dan Tabel 3.2, akan didapatkan kategori risiko dari Kota Jakarta. Sistem yang dipilih harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian.

Tabel 3.1 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0.167$	A	A
$0.167 \leq S_{DS} < 0.33$	B	C
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	C	D
$0.50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 3.2 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0.067$	A	A
$0.067 \leq S_{DS} < 0.133$	B	C
$0.133 \leq S_{DS} < 0.20$	C	D
$0.20 \leq S_{DS}$	D	D

3.2.4 Preliminary Design

Pada *preliminary design* ini menentukan dimensi elemen struktur gedung untuk digunakan dalam tahap perancangan selanjutnya :

3.2.4.1 Perencanaan Dimensi Pelat

Dalam menentukan dimensi pelat langkah-langkah perhitungan adalah sebagai berikut:

1. Menentukan terlebih dahulu apakah pelat tergolong pelat satu arah (*One-way slab*) atau pelat dua arah (*two-way slab*).
2. Tebal minimum pelat satu arah (*One-way slab*) SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.2.1. Sedangkan untuk pelat dua arah sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.3.1

Tabel 3.3 Tebal Minimum Balok Non-prategang atau Pelat Satu Arah bila Lentutan Tidak Dihitung

Komponen struktur	Tebal minimum, h			
	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lentutan yang besar			
Pelat masif satu-arah	$\ell / 20$	$\ell / 24$	$\ell / 28$	$\ell / 10$
Balok atau pelat rusuk satu-arah	$\ell / 16$	$\ell / 18,5$	$\ell / 21$	$\ell / 8$
<p>CATATAN: Panjang bentang dalam mm. Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan tulangan Mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasikan sebagai berikut: (a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (<i>equilibrium density</i>), w_c, di antara 1440 sampai 1840 kg/m³, nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65 - 0,0003w_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09. (b) Untuk f_y selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$.</p>				

3. Dimensi pelat minimum dengan balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisinya harus memenuhi syarat :

- a) Untuk α_m yang sama atau lebih kecil dari 0,2 harus menggunakan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.3.2

1. Tebal pelat tanpa penebalan 120 mm
2. Tebal pelat dengan penebalan 100 mm

- b) Untuk α_m lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2,0, ketebalan pelat minimum harus memenuhi :

$$h = \frac{\ln(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)} \quad (3.1)$$

- c) Untuk α_m lebih besar dari 2,0, ketebalan pelat minimum harus memenuhi :

$$h = \frac{\ln(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta} \quad (3.2)$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm

Dimana :

α_m = nilai rata - rata dari α_f untuk semua balok pada tepi dari suatu panel

3.2.4.2 Perencanaan Dimensi Balok Induk dan Balok Anak

Tabel minimum balok non-prategang apabila nilai lendutan tidak dihitung dapat dilihat pada Tabel 3.3 seperti perhitungan pelat. Nilai pada table tersebut berlaku apabila digunakan langsung untuk komponen struktur beton normal dan tulangan dengan mutu 420 MPa

$$h_{min} = \frac{L}{16}, \text{ digunakan saat } f_y = 420 \text{ Mpa} \quad (3.3)$$

$$h_{min} = \frac{L}{16} \left(0,4 - \frac{f_y}{700} \right), \text{ digunakan saat } f_y \text{ selain } 420 \text{ Mpa} \quad (3.4)$$

$$h_{min} = \frac{L}{16} (1,65 - 0,003w_c), \text{ digunakan saat nilai } w_c \text{ 1440 sampai 1840}$$

$$\text{kg/m}^3 \quad (3.5)$$

Di mana: b = Lebar balok
 h = Tinggi balok
 L = Panjang balok

3.2.4.3 Perencanaan Dimensi Kolom

Aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur untuk komponen struktur dengan tulangan sengkang biasa, maka faktor reduksi $\phi = 0,65$ (SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.2):

$$A = \frac{W}{\phi \times f_c'} \quad (3.6)$$

Dimana, W = Beban aksial yang diterima kolom
 f_c' = Kuat tekan beton karakteristik
 A = Luas penampang kolom

3.2.5 Pembebanan Struktur

Beban yang bekerja pada suatu struktur ada beberapa jenis menurut karakteristik, yaitu beban statis dan beban dinamis. Berikut ini akan menjelaskan lebih detail mengenai pembebanan sesuai dengan ketentuan berdasarkan RSNI 03-1726-2012 dan ketentuan SNI 03-2847-2013.

1) Beban Statis

Beban Mati berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 (PPIUG 1983) yang tertera pada Tabel 3.4

Tabel 3.4 Beban Mati pada Struktur

Beban Mati	Besar Beban
Batu Alam	2600 kg/m ³
Beton Bertulang	2400 kg/m ³
Dinding pasangan bata merah (1/2 batu)	250 kg/m ²
Kaca setebal 12 mm	30 kg/m ²
Langit-langit + penggantung	18 kg/m ²
Lantai ubin semen <i>portland</i>	24 kg/m ²
Spesi per cm tebal	21 kg/m ²

Beban Hidup berdasarkan hidup RSNI 1727:2012 pada Tabel 3.5

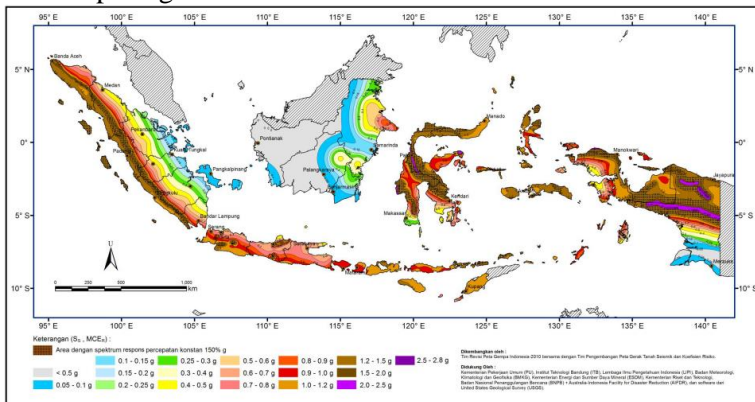
Tabel 3.5 Beban Hidup pada Struktur

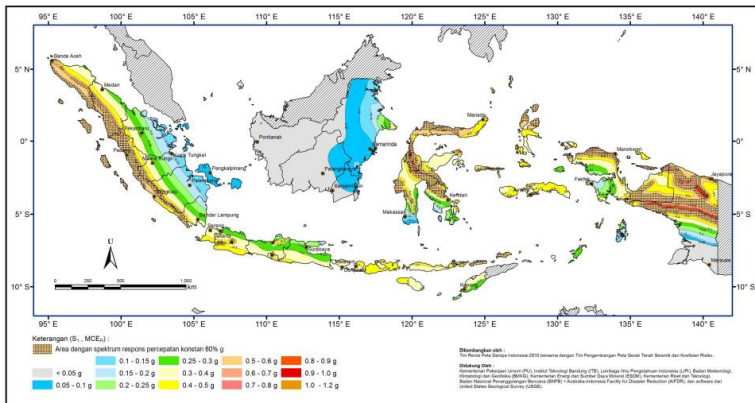
Beban hidup pada lantai gedung	Besar Beban
Lantai kantor, toko, hotel	250 kg/m ²
Lantai dan balkon dari ruang pertemuan	400 kg/m ²
Tangga, bordes tangga, dan gang	300 kg/m ²
Lantai untuk: gudang, ruang alat, dan ruang mesin	400 kg/m ²
Beban pekerja	100 kg/m ²

2) Beban Gempa

Analisa beban gempa bedasarkan SNI 03-1726-2012 meliputi :

- Penentuan respon spektrum, penentuan wilayah gempa dapat dilihat pada gambar 3.2 dan 3.3

**Gambar 3.2** Spektrum Respon Percepatan di Indonesia (S_s)



Gambar 3.3 Spektrum Respons Percepatan di Indonesia (S_I)

- Respon seismik (C_s)

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.7)$$

(Persamaan 7.8-2 SNI 03-1726-2012)

Dimana :

S_{DS} = percepatan spektrum respons disain dalam rentan periode pendek

R = faktor modifikasi respons sesuai dengan SNI 03-1726-2012

I_e = faktor keutamaan hunian yang ditentukan sesuai dengan SNI 03-1726-2012

nilai C_s max tidak lebih dari

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)} \quad (3.8)$$

- Gaya geser dasar dan gaya seismik lateral

$$V = C_s \times W \quad (3.9)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (3.10)$$

dimana :

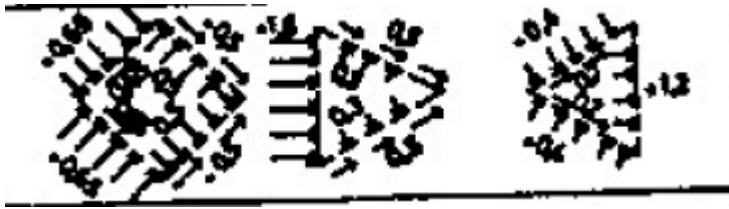
C_s = koefisien respons seismik yang ditentukan sesuai dengan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.8.1.1

W = berat seismik efektif menurut SNI 03-1726-2012 Pasal 7.7.2

3) Beban Angin (*Wind Load/WL*)

Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 :

- Untuk struktur rangka ruang dengan penampang melintang berbentuk bujursangkar dengan arah angin 45° terhadap bidang-bidang rangka, koefisien angin untuk kedua bidang rangka di pihak angin masing-masing 0,65 (tekan) dan untuk kedua rangka di belakang angin masing-masing 0,5 (isap)
- Kecuali itu, masing-masing rangka harus diperhitungkan terhadap beban angin yang bekerja dengan arah tegak lurus pada salah satu bidang rangka, koefisien angin untuk rangka pertama di pihak angin adalah 1,6 (tekan) dan untuk rangka kedua di belakang angin adalah 1,2 (isap)
- Untuk atap segitiga majemuk, untuk bidang-bidang atap di pihak angin dengan $\alpha < 65^\circ$ koefisien $(0,2\alpha - 0,4)$ (tekan), dan untuk semua bidang atap di belakang angin untuk semua α adalah 0,4 (isap)
- Tekanan tiup (beban angin) di laut dan di tepi laut sampai sejauh 5 km dari pantai harus diambil minimum 40 kg/m^2



Gambar 3.4 Bagan Beban Angin

Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 9.2.1

- 1) $U = 1,4 D$
- 2) $U = 1,2 D + 1,6 L$
- 3) $U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 E$
- 4) $U = 1,0 D + 1,0 L$
- 5) $U = 0,9 D \pm 1,0 E$

Keterangan :

U : beban ultimate

D : beban mati

L : beban hidup

E : beban gempa

3.2.6 Analisa dan Perencanaan Struktur Sekunder

3.2.6.1 Perencanaan Tulangan Pelat

a. Perhitungan Tulangan Lentur Pelat

Tahap perhitungan tulangan lentur pelat :

$$1. Rn = \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2} \quad (3.11)$$

$$2. \rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn \times m}{fy}} \right) \quad (3.12)$$

$$3. \text{Jika } \rho < \rho_{min} \text{ maka } \rho_{pakai} = \rho_{min}$$

$$4. \text{Jika } \rho > \rho_{max} \text{ maka } \rho_{pakai} = \rho_{max}$$

$$5. \text{Jika } \rho_{min} < \rho < \rho_{max} \text{ maka } \rho_{pakai} = \rho$$

$$6. As = \rho_{pakai} \times b \times d \quad (3.13)$$

b. Perhitungan Tulangan Susut

Kebutuhan tulangan susut di atur dalam SNI 03-2847-2013 Pasal 7.12.2.1

c. Kontrol Retak Tulangan

Untuk menghindari retak-retak beton di sekitar baja tulangan, maka penggunaan tulangan lentur dengan kuat leleh melebihi 300 MPa perlu dilakukan kontrol terhadap retak sesuai SNI 03-2847-2013, Pasal 10.6.4. dengan :

$$Z = f_s \sqrt[3]{d_c A} \quad (3.14)$$

Di mana:

$Z \leq 30.000$ N/mm untuk penampang dalam ruangan,

$Z \leq 25.000$ N/mm untuk di luar ruangan,

f_s = tegangan dalam tulangan yang dihitung pada kondisi beban kerja, boleh diambil sebesar $0,60 f_y$ (MPa)

d_c = tebal selimut beton diukur dari serat tarik terluar ke pusat batang tulangan atau kawat yang terdekat (mm)

$$A = \frac{2d_c b}{n} \quad (3.15)$$

A = Luas efektif beton tarik di sekitar tulangan lentur tarik dibagi dengan jumlah n batang tulangan atau kawat (mm²)

3.2.6.2 Perencanaan Tangga

Perencanaan tangga didesain dengan mengasumsikan perletakan yang digunakan adalah sendi – rol. Syarat perencanaan tangga harus memenuhi syarat berikut ini :

- $64 \leq 2.t + i \leq 65$
- Syarat kemiringan tangga : $20 \leq \alpha \leq 40$

Dimana :

l = Lebar injakan

t = Tinggi tanjakan

α = Kemiringan tangga

3.2.6.3 Perencanaan Lift

Dalam perencanaan lift, metode perhitungan yang dilakukan merupakan analisis terhadap konstruksi ruang tempat lift dan balok penggantung katrol lift. Ruang landasan diberi kelonggaran (lift pit) supaya pada saat lift mencapai lantai paling bawah, lift tidak menumbuk dasar landasan, disamping berfungsi pula menahan lift apabila terjadi kecelakaan, misalnya tali putus. Perencanaan ini mencakup perencanaan balok penumpu depan, penumpu belakang, dan balok penggantung lift.

3.2.6.4 Perencanaan Balok Anak

Beban pelat yang diteruskan ke balok anak dihitung sebagai beban trapesium, segitiga dan dua segitiga. Beban ekuivalen ini selanjutnya akan digunakan untuk menghitung gaya-gaya dalam yang terjadi di balok anak untuk menentukan tulangan lentur dan geser (perhitungan tulangan longitudinal sama dengan pelat).

3.2.7 Analisa Struktur Utama

Perhitungan gaya – gaya dalam struktur utama menggunakan bantuan program SAP2000. Adapun hal – hal yang dibutuhkan dalam analisa struktur ini antara lain :

- Bentuk gedung
- Dimensi elemen – elemen struktur dari *preliminary design*
- Wilayah gempa
- Pembebanan struktur dan kombinasi pembebanan

3.2.8 Perencanaan Struktur Utama

3.2.8.1 Perencanaan Balok Induk

3.2.8.1.1 Perhitungan Tulangan Lentur Balok

Tahapan yang digunakan dalam menentukan tulangan lentur plat adalah sebagai berikut:

1. Menentukan data-data d , f_y , f'_c , dan μ
2. Menentukan harga β_1

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 \frac{(f'c - 28)}{7} \quad (3.16)$$

SNI 03-2847-2013 pasal (10.2.7.3)

3. Menentukan batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang disyaratkan sebagai berikut :

$$\rho b = \frac{0.85\beta_1 f'c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (3.17)$$

SNI 03-2847-2013 lampiran B (8.4.2)

$$\rho < 0.025$$

SNI 03-2847-2013 pasal (21.5.2.1)

$$\rho < 0.75\rho b$$

SNI 03-2847-2013 lampiran B (10.3.3)

$$\rho_{\min} = \frac{0.25x\sqrt{f'c}}{f_y} \quad (3.18)$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} \quad (3.19)$$

SNI 03-2847-2013 pasal (10.5.1)

Dari kedua harga ρ_{\min} tersebut, diambil harga yang terbesar sebagai yang menentukan.

4. Menentukan harga m

$$m = \frac{f_y}{0.85 f'c} \quad (3.20)$$

5. Menentukan Rn

$$Rn = \frac{Mn}{\phi b d^2} \quad (3.21)$$

Diketahui harga $\phi = 0.9$

SNI 03-2847-2013 pasal (9.3.2.7)

6. Hitung rasio tulangan yang dibutuhkan :

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2xm \times Rn}{fy}} \right) \quad (3.22)$$

Di mana :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{pakai}} < \rho_{\max}$$

Menentukan luas tulangan (AS) dari ρ yang didapat

$$\rho = \frac{As}{b \times d} \quad \rightarrow \quad As = \rho \times b \times d \quad (3.23)$$

7. Menentukan jumlah tulangan

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{As_{\text{perlu}}}{\frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2} \quad (3.24)$$

8. Menghitung jarak tulangan

$$\text{Jarak tulangan} = \frac{b - n \times \phi L - 2d' - 2\phi S}{n - 1} \quad (3.25)$$

3.2.8.1.2 Perhitungan Tulangan Geser Balok

Perencanaan penampang geser harus didasarkan sesuai SNI 03-2847-2013, Pasal 11.1.1 persamaan 11-1 yaitu harus memenuhi $\phi V_n \geq V_u$,

Di mana :

V_n = kuat geser nominal penampang

V_u = kuat geser terfaktor pada penampang

ϕ = reduksi kekuatan untuk geser = 0,75

Kuat geser nominal dari penampang merupakan sumbangan kuat geser beton (V_c) dan tulangan (V_s)

$$V_n = V_c + V_s \quad (3.26)$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 11.1.1 persamaan 11-2)

Dan untuk

$$V_c = 0,17 \alpha \sqrt{f'c} b_w d \quad (3.27)$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 11.2.1.1 persamaan 11-3)

Perencanaan penampang terhadap geser harus didasarkan pada :

$$\phi V_n \geq V_u \quad (3.28)$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 11.1.1)

Di mana :

V_u = geser terfaktor pada penampang yang ditinjau

V_n = Kuat geser nominal

V_c = Kuat geser beton

V_s = Kuat geser nominal tulangan geser

3.2.8.1.3 Kontrol Torsi

Pengaruh torsi harus diperhitungkan apabila:

$$T_u \leq \frac{\phi \sqrt{f'_c}}{12} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}^2} \right) \quad (3.29)$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 11.5.1)

Perencanaan penampang terhadap torsi:

$$T_u \leq \phi T_n \quad (3.30)$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 11.5.3.5 pers.11-20)

Tulangan sengkang untuk puntir:

$$T_n = \frac{2.A_0.A_t.f_y}{s} \cot \theta \quad (3.31)$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 11.5.3.6 pers.11-21)

Di mana:

T_u = Momen torsi terfaktor

T_n = Kuat momen torsi

T_c = Kuat torsi nominal yang disumbang oleh beton

T_s = Kuat momen torsi nominal tulangan geser

A_0 = Luas yang dibatasi oleh lintasan aliran geser mm^2

3.2.8.2 Perencanaan Kolom

Detail penulangan kolom akibat beban aksial tekan harus sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.5.1. Sedangkan untuk perhitungan tulangan geser harus sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 23.5.1.

Sesuai dengan filosofi desain kapasitas, maka SNI-2847-2013 pasal 21.6.2 mensyaratkan bahwa.

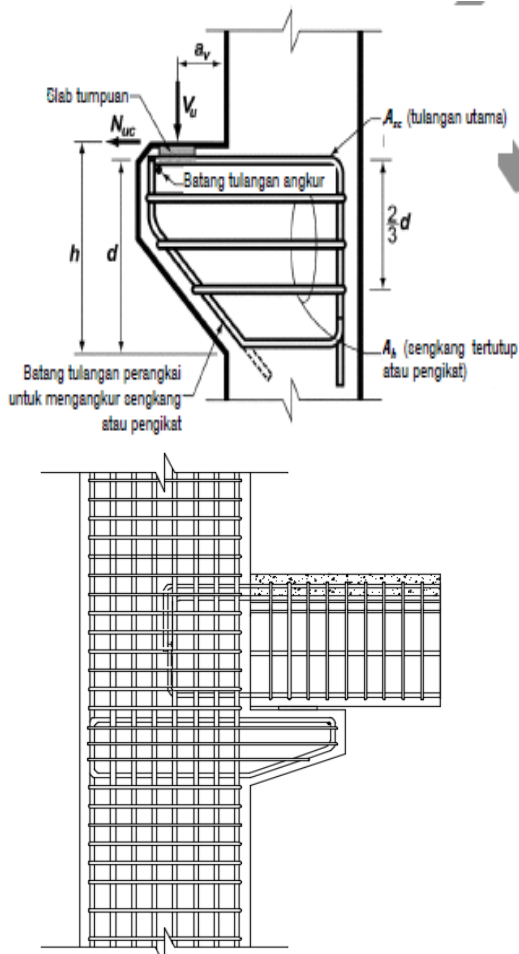
$$\sum Mn_c \geq (1,2) \times \sum Mn_b$$

Di mana $\sum Mn_c$ adalah momen kapasitas kolom dan $\sum Mn_b$ merupakan momen kapasitas balok. Perlu dipahami bahwa Mnc harus dicari dari gaya aksial terfaktor yang menghasilkan kuat lentur terendah, sesuai dengan arah gempa yang ditinjau yang dipakai untuk memeriksa syarat *strong column weak beam*. Setelah kita dapatkan jumlah tulangan untuk kolom, maka selanjutnya adalah mengontrol kapasitas kolom tersebut agar memenuhi persyaratan *strong column weak beam*.

3.2.9 Perencanaan Sambungan

3.2.9.1 Sambungan Balok Kolom

Sambungan balok pracetak – kolom pada perencanaan gedung ini menggunakan Sambungan Balok - Kolom cor setempat yang terletak pada balok. Sambungan tersebut dipilih karena cukup efektif dalam kinerja, kemudahan, dan kesederhanaan sambungan.

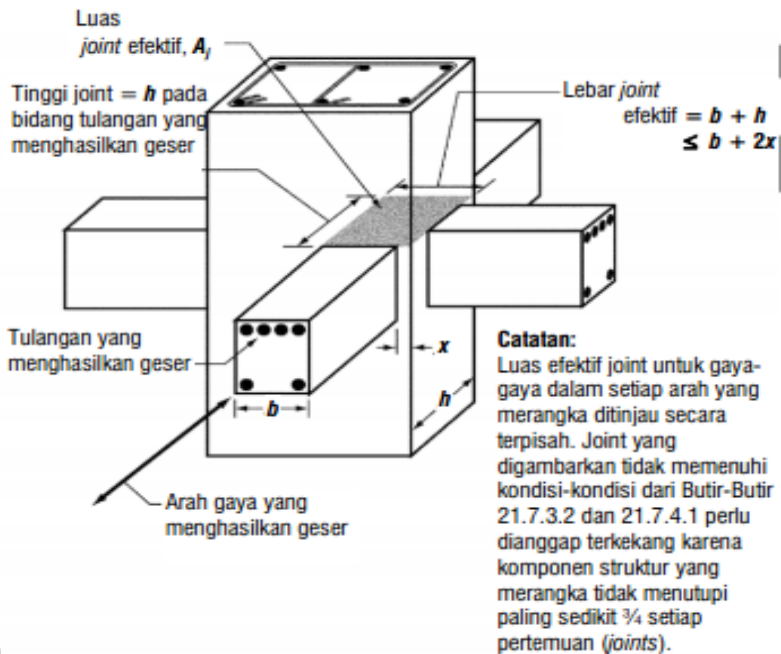


Gambar 3.5 Sambungan Balok dan Kolom

Untuk pemakaian sambungan monolit, harus dipenuhi semua kriteria untuk struktur beton bertulang yang monolit, yaitu kekuatan, kekakuan, daktilitas, dan kriteria yang bersangkutan. Sementara bila sambungan kuat yang akan dipakai, harus dicek akan berlangsungnya mekanisme *strong column weak beam*. Pada

sambungan balok-kolom harus didesain terjadinya pelelehan lentur di dalam sambungan, sementara pada sambungan kuat pelelehan harus terbentuk di luar sambungan, yaitu paling tidak pada jarak setengah tinggi balok di luar muka kolom. Selanjutnya, baik sambungan balok-kolom daktail maupun kuat harus memenuhi semua persyaratan SNI 03-2847-2013 pasal 21.8.

Kuat geser nominal, V_n pada daerah hubungan balok-kolom tidak boleh melebihi nilai yang disebutkan pada SNI 03-2847-2013 pasal 21.7.4

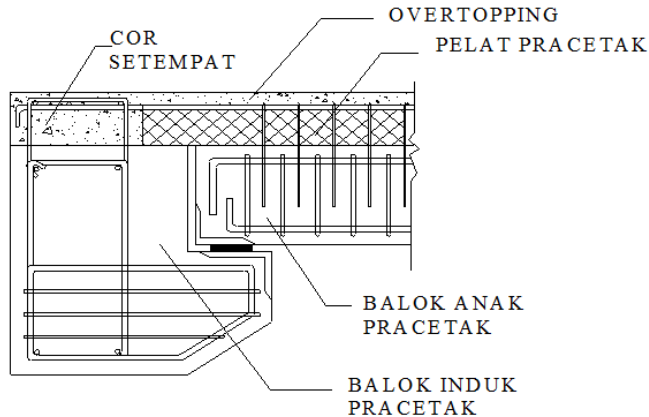


Gambar 3.6 Hubungan Balok Kolom

3.2.9.2 Sambungan Balok Induk dan Balok Anak

Balok anak diletakkan menumpu pada tepi balok induk dengan ketentuan panjang landasan adalah sedikitnya 1/180 kali bentang bersih komponen plat pracetak, tetapi tidak boleh kurang

dari 75 mm. Untuk membuat integritas struktur, maka tulangan utama balok anak baik yang tulangan atas maupun bawah dibuat menerus atau dengan kait standar yang pendetailannya sesuai dengan aturan SNI 03-2847-2013

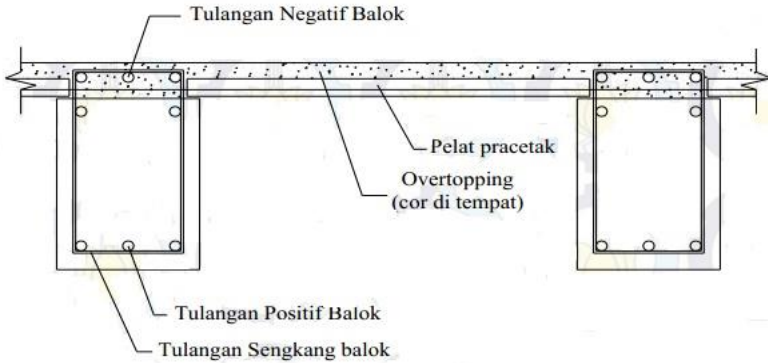


Gambar 3.7 Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak

Dalam perancangan sambungan balok induk dengan balok anak digunakan konsol pada balok induk. Balok anak diletakkan pada konsol pendek pada balok induk, kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pada balok induk ini sama dengan perencanaan konsol pada kolom.

3.2.9.3 Sambungan Balok Induk dan Pelat

Untuk menghasilkan sambungan yang bersifat kaku, monolit, dan terintegrasi pada elemen-elemen ini, maka harus dipastikan gaya-gaya yang bekerja pada pelat pracetak tersalurkan pada elemen balok. Sambungan balok induk pracetak dengan pelat pracetak menggunakan sambungan basah yang diberi *overtopping* yang umumnya digunakan 50 mm – 100 mm



Gambar 3.8 Sambungan Antara Balok dengan Pelat

3.2.10 Detail Penulangan Sambungan

3.2.10.1 Geser Horizontal

- Pada pelat lantai dan balok pracetak, gaya geser yang terjadi:

$$V_{vh} = T = C = A_s f_y \quad (3.32)$$

- Kuat geser horizontal menurut SNI 03-2847-2013, pasal 17.5.4 adalah :

$$\phi x V_{nh} = \phi x 0,6 x b_v x l_{vh} \quad (3.33)$$

- Menurut SNI 03-2847-2013, pasal 11.9.9.1 tulangan geser horizontal perlu :

$$V_s = \frac{A_v f_v d}{s} \quad (3.34)$$

3.2.10.2 Penyaluran Tulangan dalam Tarik

Menurut SNI 03-2847-2013, pasal 12.2.2 adalah sebagai berikut :

$$l_{d(\min)} = 300 \text{ mm}$$

$$\text{Untuk } D \leq 19 \text{ mm : } l_d = \left(\frac{f_y \psi_t \psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b \quad (3.31)$$

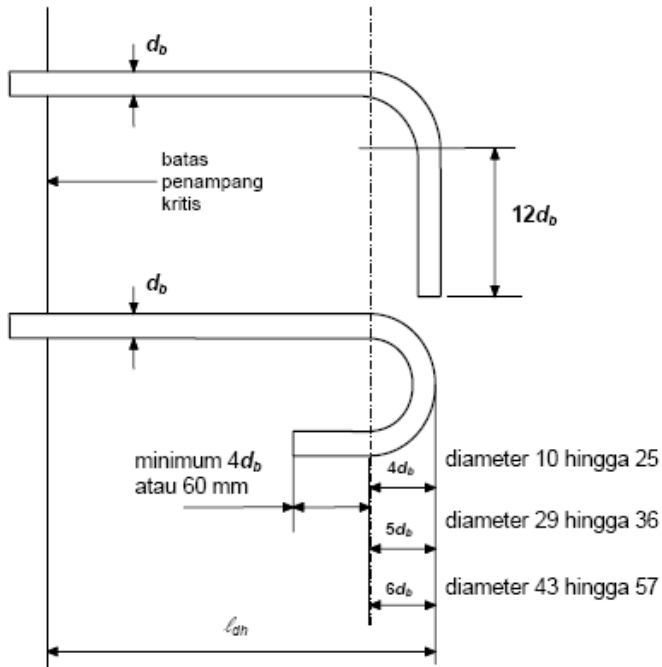
$$D \geq 22 \text{ mm} : l_d = \left(\frac{f_y \psi_t \psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b \quad (3.32)$$

Dengan pengaruh dari faktor pengali pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Faktor Pengali Penyaluran Tulangan Tarik

ψ_t = faktor lokasi penulangan	
Tulangan horizontal dipasang sehingga lebih dari 300mm beton segar dicor dibawah panjang penyaluran atau sambungan	1,3
Situasi lain	1,0
ψ_e = faktor pelapis	
Batang atau kawat dilapisi epoksi dengan selimut kurang dari $3d_b$ atau spasi bersih kurang dari $6d_b$	1,5
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi lainnya	1,2
Tulangan tidak dilapisi dan dilapisi bahan seng (digalvanis)	1,0
ψ_s = faktor ukuran batang tulangan	
Batang D-19 atau lebih kecil atau kawat ulir	0,8
Batang D-22 dan yang lebih besar	1,0
λ = faktor agregat ringan	
Apabila f_{ct} ditetapkan	0,75
Beton normal	1,0

3.2.10.3 Penyaluran Tulangan Berkait dalam Tarik



Gambar 3.9 Detail Kaitan untuk Penyaluran Kait Standar
(Sumber: SNI 03-2847-2013)

Dijelaskan pada Gambar 3.9 mengenai detail kaitan. Menurut SNI 03-2847-2013, pasal 12.5.2 adalah sebagai berikut:

$$l_{h(\min)} = 8d_b \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

Panjang penyaluran dasar dicari dengan rumus ℓ

$$l_{dh} = \left(0,24 \Psi_e f_y / \lambda \sqrt{f'_c} \right) / d_b \quad (3.33)$$

Dengan faktor pengali pada Tabel 3.7

Tabel 3.7 Faktor Pengali Penyaluran Tulangan Berkait dalam Tarik

Kondisi	Faktor
Selimut Beton , batang D-36 dan yang lebih kecil dengan tebal selimut samping (normal terhadap bidang kait) tidak kurang dari 60 mm dan untuk kait 90° dengan tebal selimut terhadap kait tidak kurang dari 50 mm	0,70
Senggang, batang D-36 dan yang lebih kecil yang secara vertikal atau horisontal dilindungi oleh sengkang yang dipasang sepanjang l_{dh} dengan spasi tidak lebih dari $3d_b$	0,80
Untuk kait 180 derajat dari batang tulangan D-36 dan yang lebih kecil yang dilingkupi dalam pengikat atau sengkang tegak lurus terhadap tulangan yang disalurkan tidak lebih besar dari $3d_b$	0,8

3.2.11 Perencanaan *Basement* dan Pondasi

Struktur *basement* direncanakan menggunakan material beton bertulang dengan cor di lokasi. Penulangan dinding *basement* dihitung sesuai dengan yang telah diatur dalam SNI 03-1729-2013. Ketebalan dinding *basement* dikontrol sesuai dengan yang telah diatur dalam SNI 03-1729-2013 pasal 22.6.6.3. Kemudian, elevasi air tanah diasumsikan pada kondisi yang paling berbahaya, yaitu sama dengan permukaan tanah. Penulangan pelat lantai *basement* dihitung sesuai dengan yang telah diatur dalam SNI 03-1729-2013.

Beban dari struktur atas akan diteruskan ke tanah melalui pondasi. Pondasi pada gedung pada tugas akhir ini direncanakan menggunakan tiang pancang beton pracetak. Perhitungan daya dukung tanah vertikal menggunakan formula dari Luciano Decourt, sedangkan kekuatan lateral dihitung dengan formula dari Sosrodaryono dan Nakazawa (2000). Pondasi dikontrol terhadap kekuatan bahan dan kekuatan tanah.

3.2.11.1 Daya Dukung Tiang Vertikal

Luciano Decourt memberikan formula daya dukung tiang vertikal sebagai berikut.

$$Q_L = Q_P + Q_S \quad (3.34)$$

$$q_p = N_p + K \quad (3.35)$$

$$Q_S = q_s A_S \quad (3.36)$$

$$Q_S = \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) A_S \quad (3.37)$$

3.2.11.2 Daya Dukung Tiang Horisontal

Daya dukung tiang horizontal dihitung berdasarkan beban pergeseran normal yang diizinkan pada kepala tiang, yaitu pergeseran paling maksimum pada ujung kepala tiang. Bila besarnya pergeseran normal sudah ditetapkan, maka daya dukung

mendatar yang diizinkan dapat ditentukan. Formula berikut diberikan oleh Sosrodarsono dan Nakazawa (2000).

$$H_a = \left(\frac{4EI\beta^3}{1 + \beta h} \right) \delta_a \quad (3.38)$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{kD}{4EI}} \quad (3.39)$$

$$k = k_0 y^{-0.5} \quad (3.40)$$

$$k_0 = 0.2 E_0 D^{\frac{3}{4}} \quad (3.41)$$

$$E_0 = 28N \quad (3.42)$$

Di mana:

Ha = kapasitas daya dukung horizontal tiang

E = modulus elastisitas bahan

I = momen inersia penampang

δ = pergeseran normal (diambil 1 cm)

k = koefisien reaksi tanah dasar

$k_0 = 0,2 E_0 D^{-3/4}$

y = besarnya pergeseran yang dicari

E_0 = modulus elastisitas tanah (28N)

h = tinggi tiang di atas tanah

3.2.11.3 Kebutuhan Tiang Pancang

Pada gedung ini digunakan pondasi tiang dengan ilustrasi pada Gambar 3.10. Jumlah tiang pancang yang dibutuhkan

$$n = \frac{\sum P}{P_{ijin}} \quad (3.43)$$

$$2.5D \leq S \leq 5D$$

$$2.5D \leq S1 \leq 3D$$

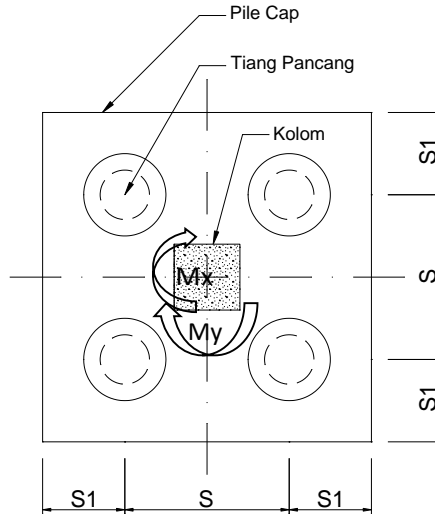
Kontrol tegangan yang terjadi pada tiang pancang

$$P_{\text{satuTP}} = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_y X_{\max}}{\sum x^2} \pm \frac{M_x Y_{\max}}{\sum y^2} \quad (3.44)$$

Efisiensi satu tiang pancang:

$$\eta = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \quad (3.45)$$

$$P_{\text{group tiang}} = \eta P_{\text{ijin}}$$



Gambar 3.10 Ilustrasi Pondasi Tiang Pancang

3.2.11.4 Perencanaan Terhadap Geser

a) Kontrol geser satu arah

$$\phi V_c \geq V_u$$

$$\phi \frac{1}{6} \sqrt{f' c} b_o d \geq V_u \quad (3.46)$$

b) Kontrol geser dua arah (geser ponds)

Kuat geser yang disumbangkan beton diambil yang terkecil, sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 11.11.2

$$V_c = 0.17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f'c} b_o d \quad (3.47)$$

Atau

$$V_c = 0.083 \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right) \lambda \sqrt{f'c} b_o d \quad (3.48)$$

Di mana α_s adalah 40 untuk kolom interior, 30 untuk kolom tepi, 20 untuk kolom sudut, atau

$$V_c = 0.33 \lambda \sqrt{f'c} b_o d \quad (3.49)$$

3.3 Gambar Rencana

Hasil dari analisa struktur di atas divisualisasikan dalam gambar teknik. Dalam penggambaran ini menggunakan program AutoCAD 2015

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Preliminary Design

4.1.1 Umum

Preliminary design merupakan proses perencanaan awal yang akan digunakan untuk merencanakan dimensi struktur gedung. Perencanaan awal dilakukan menurut peraturan yang ada. Preliminary design yang dilakukan terhadap komponen struktur antara lain balok induk, balok anak, dinding geser, pelat, dan kolom. Sebelum melakukan preliminary baiknya dilakukan penentuan data perencanaan dan beban yang akan diterima oleh struktur gedung.

4.1.2 Data Perencanaan

Sebelum perhitungan preliminary design perlu diketahui terlebih dahulu data perencanaan dan beban – beban yang diterima struktur gedung tersebut. Pada perencanaan gedung RSUD Koja Jakarta ini dimodifikasi menggunakan beton pracetak dengan data perencanaan sebagai berikut :

- Fungsi bangunan : Rumah sakit
- Lokasi : Jakarta
- Jumlah lantai : 20 (dua puluh) lantai dan 1 (satu) lantai basement
- Ketinggian lantai : 4.00 m
- Tinggi bangunan : 80 m
- Mutu beton (f'_c) : 30 MPa
- Mutu baja (f_y) : 400 MPa
- Letak bangunan : Jauh dari pantai

4.1.3 Pembebanan

a. Beban Statis (PPIUG 1983)

1. Beban Mati

- Berat sendiri beton bertulang : 2400 kg/m³
- Penutup lantai (1 cm) : 24 kg/m³
- Dinding ½ bata : 250 kg/m²
- Plafond : 11 kg/m²
- Penggantung : 7 kg/m²
- Plumbing : 10 kg/m²
- Spesi (1 cm) : 21 kg/m²

2. Beban Hidup

- Lantai rumah sakit : 250 kg/m²
- Atap : 100 kg/m²
- Pelat tangga dan bordes : 300 kg/m²

b. Beban Angin

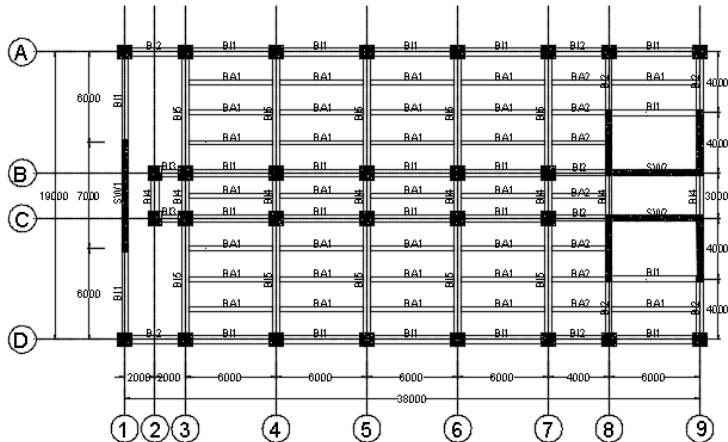
- Jauh dari tepi laut : 25 kg/m²

c. Beban Gempa

- Perencanaan dan perhitungan struktur terhadap gempa dilakukan menurut SNI 1726-2012

4.1.4 Perencanaan Dimensi Balok

Modifikasi dalam tugas akhir ini menggunakan balok yang penampangnya berbentuk persegi. Perencanaan balok dilakukan dalam dua tahap, tahap pertama balok pracetak dibuat dengan sistem pabrikasi yang kemudian pada tahap kedua dilakukan penyambungan dengan menggunakan sambungan basah. Pada tahap kedua balok dipasang dengan pengangkatan ke lokasi proyek lalu dilakukan *over-topping* setelah sebelumnya dipasang terlebih dahulu pelat pracetak. Dengan sistem tersebut maka akan membentuk struktur yang monolit



Gambar 4.1 Denah Pembalok

4.1.4.1 Dimensi Balok Induk

Dimensi balok induk direncanakan sebagai balok dengan dua tumpuan sederhana dengan dua tumpuan sederhana dengan mutu beton 30 MPa dan mutu baja 400 MPa sehingga digunakan :

$$h_{min} = \frac{L}{16} \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right) \text{ (SNI 2847-2013 Tabel 9.5.a)}$$

Untuk lebar balok diambil 2/3 dari tinggi balok :

$$b = \frac{2}{3} h$$

Dimana :

b = lebar balok

h = tinggi balok

L = panjang balok

• Balok Induk 1 : L = 6 meter

$$h_{min} = \frac{6000}{16} \left(0,4 + \frac{400}{700} \right) = 364,29 \text{ mm} \rightarrow h = 700 \text{ mm}$$

$$b = \frac{2}{3} 700 = 466,67 \text{ mm}$$

Maka direncanakan dimensi balok induk 1 dengan dimensi 500/700

Tabel 4.1 Rekapitulasi Dimensi Balok Induk

Kode Balok Induk	Bentang Kotor (L_b)	h_{min}	h_{pakai}	b_{pakai}	Dimensi		
	Mm	mm	mm	mm	mm		
BI1	6000	364.29	700	500	700	x	500
BI2	4000	242.86	700	500	700	x	500
BI3	2000	121.43	700	500	700	x	500
BI4	3000	182.15	700	500	700	x	500
BI5	8000	485.72	700	500	700	x	500

4.1.4.2 Dimensi Balok Anak

Dimensi balok anak direncanakan sebagai balok pada dua tumpuan menerus dengan mutu beton 30 MPa dan mutu baja 400 MPa sehingga digunakan :

$$h_{min} = \frac{1}{21} L \text{ (SNI 2847-2013 Tabel 9.5.a)}$$

$$b = \frac{2}{3} h$$

Dimana :

b = lebar balok

h = tinggi balok

L = panjang balok

• Balok Anak 1 : L = 6 m

$$h_{min} = \frac{1}{21} 6000 = 285,72 \text{ mm} \rightarrow h = 500 \text{ mm}$$

$$b = \frac{2}{3} 500 = 333,33 \text{ mm}$$

Maka direncanakan dimensi balok anak 1 dengan dimensi 300/500

Tabel 4.2 Rekapitulasi Dimensi Balok Anak

Kode Balok Anak	Bentang Kotor (L_b)	h_{min}	h_{pakai}	b	b_{pakai}	Dimensi		
	mm	mm	mm	mm	mm	mm		
BA1	6000	285.72	500	333.34	300	500	x	300
BA2	4000	190.48	500	333.34	300	500	x	300

4.1.5 Perencanaan Tebal Pelat

4.1.5.1 Peraturan Perencanaan Pelat

Peraturan penentuan tebal pelat minimum satu arah dan dua arah menggunakan persyaratan pada SNI 2847-2013. Untuk memenuhi syarat lendutan, tebal pelat minimum satu arah harus sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 9.5.1 tabel 9.5 (a)

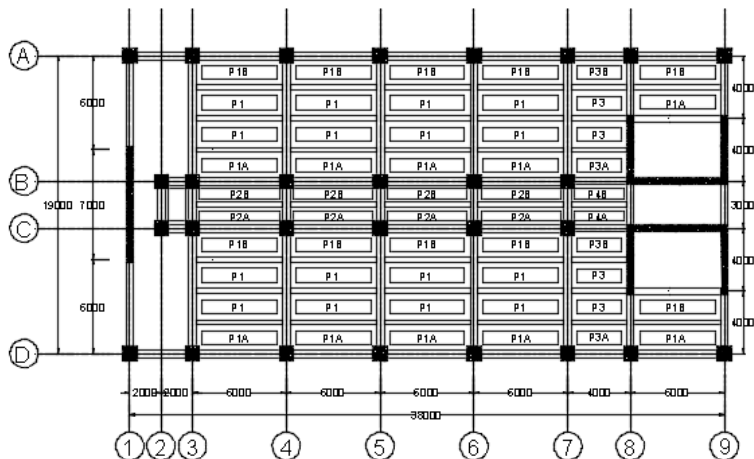
4.1.5.2 Data Perencanaan Tebal Pelat Lantai dan Atap

Pelat yang direncanakan berupa pelat lantai dengan 4 tipe pelat yang memiliki ukuran yaitu :

- Pelat tipe P1 : 6000 x 2000
- Pelat tipe P2 : 6000 x 1500
- Pelat tipe P3 : 4000 x 2000
- Pelat tipe P4 : 4000 x 1500

Pelat tersebut direncanakan dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Mutu beton : 30 MPa
- Mutu baja : 400 MPa



Gambar 4.2 Denah Pelat

Untuk perhitungan pelat satu arah adalah sebagai berikut :

- Pelat tipe S1 ukuran 6000 mm x 2000 mm

$$Ln = 6000 - \left(\frac{400}{2} + \frac{400}{2} \right) = 5600 \text{ mm}$$

$$Sn = 2000 - \left(\frac{400}{2} + \frac{400}{2} \right) = 1600 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{Ln}{Sn} = \frac{5600}{1600} = 3,5 > 2 \rightarrow \text{pelat satu arah}$$

$$h_{min} = \frac{L}{20} \left(0,4 + \frac{fy}{700} \right) = \frac{2000}{20} \left(0,4 + \frac{400}{700} \right) = 97,15 \text{ mm} \rightarrow h = 150 \text{ mm}$$

Tabel 4.3 Rekapitulasi Dimensi Pelat

Tipe Pelat	Lx	Ly	Sn	Ln	Ln/Sn	Jenis Pelat	h _{min}	h _{pakai}
	mm	mm	mm	mm			mm	mm
S1	2000	6000	1600	5600	3.5	1 Arah	97,15	150
S2	1500	6000	1100	5600	5.09	1 Arah	30	150
S3	2000	4000	1600	3600	2.25	1 Arah	40	150
S4	1500	4000	1100	3600	3.27	1 Arah	30	150

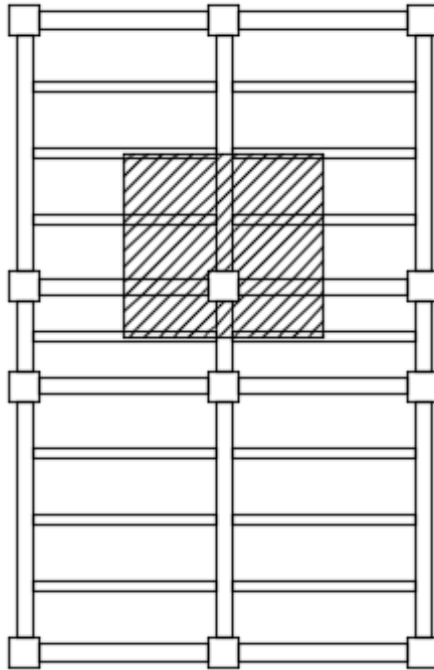
Tebal pelat yang direncanakan 150 mm telah memenuhi syarat. Perincian elemen pelat yang merupakan pelat pracetak adalah :

Tebal pelat pracetak = 100 mm

Tebal overtopping = 50 mm

4.1.6 Perencanaan Dimensi Kolom

Perencanaan dimensi kolom yang ditinjau adalah kolom yang mengalami pembebanan terbesar. Kolom yang direncanakan memikul beban pada luasan ukuran 8000 x 6000 mm²



Gambar 4.3 Beban yang Diterima Kolom

4.1.6.1 Beban

a. Beban mati lantai 1-20

- Pelat
$$= 8 \times 6 \times 0,14 \times 2400 \times 20$$

$$= 322560 \text{ kg}$$
- Balok Induk
$$= 114 \times 0,6 \times 0,4 \times 2400 \times 20$$

$$= 161280 \text{ kg}$$
- Balok Anak
$$= 18 \times 0,3 \times 0,2 \times 2400 \times 20$$

$$= 129600 \text{ kg}$$

- Plafond $= 8 \times 6 \times 11 \times 20$
 $= 10560 \text{ kg}$
- Penggantung $= 8 \times 6 \times 7 \times 20$
 $= 6720 \text{ kg}$
- Plumbing $= 8 \times 6 \times 10 \times 20$
 $= 9600 \text{ kg}$
- Spesi (2cm) $= 8 \times 6 \times 2 \times 21 \times 20$
 $= 40320 \text{ kg}$
- Aspal $= 8 \times 6 \times 14 \times 1$
 $= 672 \text{ kg}$
- Penutup Lantai (2cm) $= 8 \times 6 \times 2 \times 24 \times 20$
 $= 23040 \text{ kg} +$
- Berat Total (DL) $= 704352 \text{ kg}$

b. Beban hidup lantai 1-20

- Beban Atap $= 8 \times 6 \times 100 \times 1$
 $= 4800 \text{ kg}$
- Beban Lantai $= 8 \times 6 \times 250 \times 19$
 $= 228000 \text{ kg} +$
- Berat Total (LL) $= 232800 \text{ kg}$

Koefisien reduksi untuk beban hidup perpustakaan (PPIUG 1983 tabel 3.3) = 0,75. Jadi, total beban untuk beban hidup:

$$L_L = 0,75 \times W_{LL} = 0,75 \times 232800 = 174600 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi berat total} &= 1,2D_L + 1,6L_L \\ &= 1,2 \times 704352 + 1,6 \times 174600 \\ &= 1124582 \text{ kg} \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847-2013 pasal 9.3.2.2 aksila tekan dan aksial tekan dengan lentur untuk komponen struktur dengan tulangan sengkang biasa, maka faktor reduksi ($\phi=0,65$)

$$\text{Mutu beton} = 30 \text{ MPa} = 3 \text{ kg/mm}^2$$

$$\text{Rencana awal} \rightarrow A = \frac{Pu}{\phi f'c} = \frac{1124582}{0,65 \times 3} = 576708,9 \text{ mm}^2$$

$$b = h = \sqrt{A} = \sqrt{576708,9} = 759,41 \text{ mm}$$

Maka direncanakan dimensi kolom :

- Lantai 1-10 = 900 x 900 mm²
- Lantai 11-20 = 800 x 800 mm²

4.1.7 Perencanaan Tebal Dinding Geser

Berdasarkan peraturan SNI 2847-2013 pasal 14.5.3.1 ketebalan dinding yang didesain dengan metoda empiris tidak boleh kurang dari 1/25 tinggi atau panjang bentang tertumpu atau kurang dari 100 mm.

$$\bullet \text{ Tinggi dinding (H)} = 4000 \text{ mm}$$

$$\bullet \text{ Panjang bentang dinding (L)} = 8000 \text{ mm}$$

$$\frac{H}{25} = \frac{4000}{25} = 160 \text{ mm}$$

$$\frac{L}{25} = \frac{8000}{25} = 320 \text{ mm}$$

Maka direncanakan tebal dinding = 400 mm

4.2 Perencanaan Struktur Sekunder

4.2.1 Perencanaan Pelat

Desain tebal pelat direncanakan menggunakan ketebalan 150 mm dengan perincian tebal pelat pracetak 100 mm dan *overtopping* 50 mm. Peraturan yang digunakan untuk penentuan berat beban yang bekerja pada struktur pelat adalah PPIUG 1983. Desain pelat direncanakan pada beberapa keadaan, yaitu :

1. Sebelum komposit, keadaan ini terjadi pada saat awal pengecoran *topping* yaitu komponen pracetak dan komponen topping belum menyatu dalam memikul beban. Perletakan pelat dapat dianggap sebagai perletakan bebas.
2. Sesudah komposit, keadaan ini terjadi apabila *topping* dan elemen pracetak pelat telah bekerja bersama-sama dalam

memikul beban. Perletakan pelat dianggap sebagai perletakan terjepit elastis.

Permodelan pelat baik pada saat sebelum komposit dan setelah komposit akan digunakan untuk perhitungan tulangan pelat. Pelat pada saat awal pemasangan atau saat sebelum komposit diasumsikan memiliki perletakan bebas dengan tulangan lapangan saja. Sedangkan pada saat setelah komposit diasumsikan sebagai perletakan terjepit elastis. Penulangan akhir nantinya merupakan penggabungan pada dua keadaan di atas. Selain tulangan untuk menahan beban gravitasi perlu juga diperhitungkan tulangan angkat yang sesuai pada pemasangan pelat pracetak.

4.2.1.1 Data Perencanaan

Data perencanaan yang digunakan untuk perencanaan pelat sesuai dengan *preliminary design* adalah :

- Tebal pelat = 150 mm
- Mutu beton (f'_c) = 30 MPa
- Mutu baja (f_y) = 400 MPa
- Diameter tulangan rencana = 10 mm

4.2.1.2 Pembebanan Pelat Lantai

Sebelum komposit

- Beban mati (DL)
 Berat sendiri $= 0,1 \times 2400 = 240 \text{ kg/m}^2$
- Beban hidup (LL)
 Beban kerja $= 100 \text{ kg/m}^2$

Setelah komposit

- Beban mati (DL)
 Berat sendiri $= 0,15 \times 2400 = 360 \text{ kg/m}^2$
- Plafond $= 11 \text{ kg/m}^2$

Penggantung		$= 7 \text{ kg/m}^2$
Plumbing		$= 10 \text{ kg/m}^2$
Spesi (2 cm)	$= 2 \times 21$	$= 42 \text{ kg/m}^2$
Penutup lantai (2 cm)	$= 2 \times 24$	$= 48 \text{ kg/m}^2 +$
	DL	$= 478 \text{ kg/m}^2$
• Beban hidup (LL)		
Beban hidup pada lantai		$= 250 \text{ kg/m}^2$

4.2.1.3 Pembebanan Pelat Atap

Sebelum komposit

• Beban mati (DL)		
Berat sendiri	$= 0,1 \times 2400$	$= 240 \text{ kg/m}^2$
• Beban hidup (LL)		
Beban hidup pada atap		$= 100 \text{ kg/m}^2$
Beban air hujan		$= 20 \text{ kg/m}^2 +$
	DL	$= 120 \text{ kg/m}^2$

Setelah komposit

• Beban mati (DL)		
Berat sendiri	$= 0,15 \times 2400$	$= 360 \text{ kg/m}^2$
Plafond		$= 11 \text{ kg/m}^2$
Penggantung		$= 7 \text{ kg/m}^2$
Plumbing		$= 10 \text{ kg/m}^2$
Spesi (2 cm)	$= 2 \times 21$	$= 42 \text{ kg/m}^2$
Penutup lantai (2 cm)	$= 2 \times 24$	$= 48 \text{ kg/m}^2 +$
	DL	$= 478 \text{ kg/m}^2$
• Beban hidup (LL)		
Beban hidup pada atap		$= 100 \text{ kg/m}^2$
Beban air hujan		$= 20 \text{ kg/m}^2 +$
	LL	$= 120 \text{ kg/m}^2$

4.2.1.4 Kombinasi Pembebanan Pelat

Kombinasi pembebanan yang digunakan berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 9.2.1 didapatkan

$$Q_u = 1,2DL + 1,6LL$$

Berikut adalah perhitungan kombinasi pembebanan pelat lantai :

- Keadaan 1 sebelum komposit, ada beban kerja

$$Q_u = 1,2 \times 240 + 1,6 \times 100 = 448 \text{ kg/m}^2$$

- Keadaan 2 sebelum komposit, setelah *overtopping*

$$Q_u = 1,2 \times 360 + 1,6 \times 0 = 432 \text{ kg/m}^2$$

- Keadaan 3 setelah komposit

$$Q_u = 1,2 \times 478 + 1,6 \times 250 = 973,6 \text{ kg/m}^2$$

Dan juga perhitungan kombinasi pembebanan pelat atap :

- Keadaan 1 sebelum komposit, ada beban kerja

$$Q_u = 1,2 \times 240 + 1,6 \times 120 = 480 \text{ kg/m}^2$$

- Keadaan 2 sebelum komposit, setelah *overtopping*

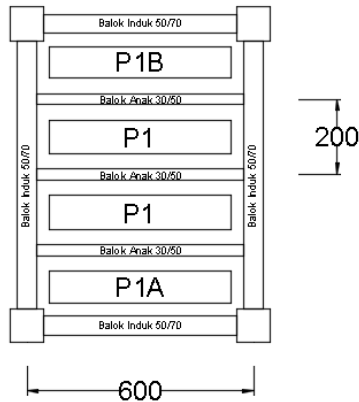
$$Q_u = 1,2 \times 360 + 1,6 \times 0 = 432 \text{ kg/m}^2$$

- Keadaan 3 setelah komposit

$$Q_u = 1,2 \times 478 + 1,6 \times 120 = 765,6 \text{ kg/m}^2$$

4.2.1.5 Perhitungan Tulangan Pelat

Perhitungan pelat untuk pelat lantai tipe P1 persegi panjang 2000 x 6000 mm. Berikut merupakan langkah – langkah serta beberapa contoh perhitungan yang digunakan dalam menentukan tulangan lentur pelat :



Gambar 4.4 Pelat yang Ditinjau

- Menentukan data perencanaan untuk penulangan pelat :

Dimensi pelat	: 6000 mm x 2000 mm
Tebal pelat (sebelum komposit)	: 100 mm
Tebal topping	: 50 mm
Tebal decking	: 20 mm
Diameter tulangan rencana	: 10 mm
Mutu tulangan baja (f_y)	: 400 MPa
Mutu beton (f'_c)	: 30 MPa

- Kondisi sebelum komposit

$$dx = 100 - 20 - \frac{10}{2} = 75 \text{ mm}$$

$$dy = 100 - 20 - 10 - \frac{10}{2} = 65 \text{ mm}$$

- Kondisi sesudah komposit

$$dx = 140 - 20 - \frac{10}{2} = 115 \text{ mm}$$

$$dy = 140 - 20 - 10 - \frac{10}{2} = 105 \text{ mm}$$

- Untuk mutu beton $f'_c = 30 \text{ MPa}$ berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 10.2.7.3 harga dari β_1 adalah sebagai berikut :

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f'c-28}{7} = 0,83 \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,83$$

- Menentukan batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang disyaratkan sebagai berikut :

$$\rho_{min} = 0,25 \frac{\sqrt{f'c}}{f_y} = 0,25 \frac{\sqrt{30}}{400} = 0,0034 \quad \text{SNI 2847-2013 10.5.1}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = \mathbf{0,0035} \quad \text{SNI 2847-2013 10.5.1}$$

Penulangan pokok pelat pada tumpuan sama dengan pada lapangan, tetapi letak tulangan tariknya berbeda. Pada daerah tumpuan tulangan tarik berada di atas sedangkan pada daerah lapangan tulangan tariknya berada di bawah. Tulangan lapangan dan tulangan tumpuan baik tulangan pokok maupun tulangan bagi direncanakan menggunakan tulangan D10 ($A_s = 78,54 \text{ mm}^2$)

4.2.1.6 Perhitungan Penulangan Pelat Sebelum Komposit

Tebal pelat = 100 mm (sebelum komposit)

Tebal decking = 20 mm

Diameter tulangan = 10 mm

Tinggi efektif (d) = 75 mm

Momen (M_u) yang bekerja pada pelat dihitung menggunakan persamaan pada PBI 1971 tabel 13.3.1. Diasumsikan pada pelat terjepit di keempat sisinya.

- $M_{lx} = -M_{tx} = 0,001 \cdot Q_u \cdot Lx^2 \cdot X \rightarrow X = 83$

- $M_{ly} = -M_{ty} = 0,001 \cdot Q_u \cdot Ly^2 \cdot Y \rightarrow Y = 57$

Pada pelat satu arah penulangan lentur hanya pada arah X (arah melintang pelat) sedangkan pada arah Y (arah memanjang pelat) adalah tulangan pembagi.

Perhitungan momen sebelum komposit sebelum *overtopping*:

$$M_{lx} = -M_{tx} = 0,001 \times 448 \times 2^2 \times 83 = 148,8 \text{ kgm} = 1488000 \text{ Nmm}$$

Perhitungan momen sebelum komposit setelah *overtopping*:

$$M_{lx} = -M_{tx} = 0,001 \times 432 \times 2^2 \times 83 = 143,424 \text{ kgm} = 1434240 \text{ Nmm}$$

$$\varphi = 0,9 \rightarrow \text{perlu dikontrol } \varepsilon_t > 0,005 \text{ SNI 2847-2013 9.3.2.1}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\varphi} = \frac{1488000}{0,9} = 1652622,3 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{1652622,3}{1000 \times 75^2} = 0,29 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 0,29}{400}} \right) = 0,0008$$

$$\rho_{\text{pakai}} = \rho_{\text{min}} = 0,0035$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d = 0,0035 \times 1000 \times 75 = 262,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan (n)} = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s_{D13}}} = \frac{262,5}{78,54} = 3,4 \approx 4$$

$$\text{Direncanakan menggunakan 4 tulangan tiap 1000 mm, } s = \frac{1000}{n} = \frac{1000}{4} = 250 \text{ mm}$$

$$A_s = A_{s_{D10}} \times n = 78,54 \times 4 = 314,16 \text{ mm}^2 > A_{s_{\text{perlu}}} = 262,5 \text{ mm}^2$$

- Kontrol ρ_{min} dan regangan $\varepsilon_t > 0,005$ (terkontrol tarik)

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{314,16}{1000 \times 75} = 0,0038 > \rho_{\text{min}} = 0,0035 \rightarrow OK$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{314,16 \times 400}{0,85 \times 30 \times 1000} = 4,93 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{4,93}{0,83} = 5,89 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{75-5,89}{5,89} \times 0,003 = 0,035 > 0,005 \rightarrow OK$$

- Kontrol retak SNI 2847-2013 10.6.4

$$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} \times 400 = 266,667 \text{ MPa}$$

$$Cc = 20 - \frac{10}{2} = 15 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5Cc = 380 \left(\frac{280}{266,667} \right) - 2,5 \times 15 = 361,5 \text{ mm}$$

$$\text{Atau } S_{maks} = \mathbf{315 \text{ mm}}$$

$$S_{min} = d_b = 10 \text{ mm} \text{ atau } S_{min} = \mathbf{25 \text{ mm}} \text{ SNI 2847-2013 7.6.1}$$

Maka direncanakan tulangan pokok pelat lantai tipe 1 **D10-150 mm**

• Tulangan pembagi

Dalam arah tegak lurus terhadap tulangan utama harus disediakan tulangan pembagi (untuk menjaga dari tegangan suhu dan susut) dengan mengikuti acuan pada SNI 2847-2013 7.12.2
 $\rho = 0,002$ SNI 2847-2013 7.12.2.1

$$As_{perlu} = \rho \times b \times d = 0,002 \times 1000 \times 75 = 150 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{150}{78,54} = 1,91 \approx 2$$

$$As = 2 \times As_{\emptyset 10} = 2 \times 78,54 = 157,1 \text{ mm}^2 > As_{perlu} = 150 \text{ mm}^2$$

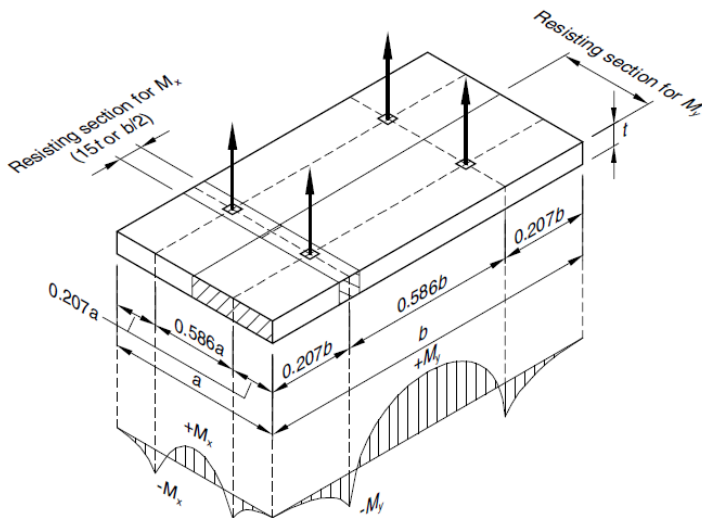
$$S = \frac{b}{n} = \frac{1000}{2} = 500 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = 5 \times h = 5 \times 100 = 500 \text{ mm} \text{ atau } S_{maks} = \mathbf{450 \text{ mm}}$$

SNI 2847-2013 7.12.2.2

Maka direncanakan tulangan pembagi pelat lantai tipe 1 **D10-250 mm**

4.2.1.7 Penulangan Akibat Pengangkatan



Gambar 4.5 Posisi Titik Angkat Pelat (4 buah titik angkat)

(Sumber: *PCI Design Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete*)

$$M_x = 0,0107 \times w \times a^2 \times b$$

$$M_y = 0,0107 \times w \times a \times b^2$$

Pada pelat tipe S1 :

$$a = 1,6 \text{ m}$$

$$b = 5,6 \text{ m}$$

$$w = 0,1 \times 2400 = 240 \text{ kg/m}$$

Maka :

$$M_x = 0,0107 \times 240 \times 1,6^2 \times 5,6 = 36,82 \text{ kgm}$$

$$M_y = 0,0107 \times 240 \times 1,6 \times 5,6^2 = 128,86 \text{ kgm}$$

• **Penulangan arah X (tulangan utama)**

$$Mu = 36,82 \text{ kgm} = 368200 \text{ Nmm}$$

$$\phi = 0,9$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = 409053,87 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{409053,87}{1000 \times 75^2} = 0,073$$

$$m = 15,69$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right) = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 0,073}{400}} \right) = 0,0002$$

$$\rho = \rho_{\min} = 0,0035$$

$$A_{S\text{perlu}} = \rho b d = 0,0035 \times 1000 \times 75 = 262,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{D10} = 78,54 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{S\text{perlu}}}{A_{D10}} = \frac{262,5}{78,54} = 3,4 \approx 4$$

$$S = \frac{b}{n} = \frac{1000}{4} = 250$$

$$S_{\text{maks}} = 3 \times \text{tebal pelat} = 3 \times 100 = \mathbf{300 \text{ mm}}$$
 atau 450 mm

Pakai tulangan D10-150 mm

• **Penulangan arah Y**

$$Mu = 128,86 \text{ kgm} = 1288600 \text{ Nmm}$$

$$\phi = 0,9$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = 1431688,54 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{1431688,54}{1000 \times 65^2} = 0,339$$

$$m = 15,69$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}} \right) = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 0,339}{400}} \right) = 0,0008$$

$$\rho = \rho_{\text{min}} = 0,0035$$

$$A_{s\text{perlu}} = \rho b d = 0,0035 \times 1000 \times 65 = 227,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{D10} = 78,54 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{D10}} = \frac{227,5}{78,54} = 2,9 \approx 3$$

$$S = \frac{b}{n} = \frac{1000}{3} = 333,33 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} = 3 \times \text{tebal pelat} = 3 \times 100 = \mathbf{300 \text{ mm}}$$
 atau 450 mm

Pakai tulangan D10-250 mm

4.2.1.8 Perhitungan Penulangan Pelat Sesudah Komposit

Tebal pelat = 150 mm (sesudah komposit)

Tebal decking = 20 mm

Diameter tulangan = 10 mm

Tinggi efektif (d) = 125 mm

Momen (Mu) yang bekerja pada pelat dihitung menggunakan persamaan pada PBI 1971 tabel 13.3.1. Diasumsikan pada pelat terjepit di keempat sisinya.

$$\bullet M_{lx} = -M_{tx} = 0,001 \cdot Qu \cdot Lx^2 \cdot X \rightarrow X = 83$$

$$\bullet M_{ly} = -M_{ty} = 0,001 \cdot Qu \cdot Ly^2 \cdot Y \rightarrow Y = 57$$

Pada pelat satu arah penulangan lentur hanya pada arah X (arah melintang pelat) sedangkan pada arah Y (arah memanjang pelat) adalah tulangan pembagi.

• Penulangan Arah X

Perhitungan momen sesudah komposit :

$$M_{lx} = -M_{tx} = 0,001 \times 973,6 \times 2^2 \times 83 = 323,3 \text{ kgm} = 3233000 \text{ Nmm}$$

$$\varphi = 0,9 \rightarrow \text{perlu dikontrol } \varepsilon_t > 0,005 \text{ SNI 2847-2013 9.3.2.1}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{3233000}{0,9} = 3591502,3 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{3591502,3}{1000 \times 125^2} = 0,23 \frac{N}{mm^2}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 0,23}{400}} \right) = 0,001$$

$$\rho_{pakai} = \rho_{min} = 0,0035$$

$$A_{sperlu} = \rho_{perlu} \times b \times d = 0,0035 \times 1000 \times 125 = 437,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan (n)} = \frac{A_{sperlu}}{A_{sD10}} = \frac{437,5}{78,54} = 5,58 \cong 6 \text{ buah}$$

$$\text{Direncanakan menggunakan 6 tulangan tiap 1000 mm, } s = \frac{1000}{n} = \frac{1000}{6} = 166,67 \text{ mm}$$

$$A_s = A_{sD10} \times n = 78,54 \times 6 = 471,23 \text{ mm}^2 > A_{sperlu} = 402,5 \text{ mm}^2$$

• Kontrol ρ_{min} dan regangan $\varepsilon_t > 0,005$ (terkontrol tarik)

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{471,23}{1000 \times 125} = 0,0037 > \rho_{min} = 0,0035 \rightarrow OK$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'c \times b} = \frac{471,23 \times 400}{0,85 \times 30 \times 1000} = 7,39 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{7,39}{0,83} = 8,84 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{125-8,84}{8,84} \times 0,003 = 0,04 > 0,005 \rightarrow OK$$

• Kontrol retak SNI 2847-2013 10.6.4

$$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} \times 400 = 266,667 \text{ MPa}$$

$$Cc = 20 - \frac{10}{2} = 15 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5Cc = 380 \left(\frac{280}{266,667} \right) - 2,5 \times 15 = 361,5 \text{ mm}$$

Atau $S_{maks} = 315 \text{ mm}$

$S_{min} = d_b = 10 \text{ mm}$ atau $S_{min} = 25 \text{ mm}$ SNI 2847-2013 7.6.1

Maka direncanakan tulangan pokok pelat lantai tipe 1 **D10-150 mm**

- Penulangan Arah Y (Tulangan pembagi)

Dalam arah tegak lurus terhadap tulangan utama harus disediakan tulangan pembagi (untuk menjaga dari tegangan suhu dan susut) dengan mengikuti acuan pada SNI 2847-2013 7.12.2

$\rho = 0,002$ SNI 2847-2013 7.12.2.1

$$A_{s_{perlu}} = \rho \times b \times d = 0,002 \times 1000 \times 115 = 250 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{250}{78,54} = 3,18 \approx 4$$

$$A_s = n \times A_{s_{D10}} = 4 \times 78,54 = 314,1 \text{ mm}^2 > A_{s_{perlu}} = 280 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{b}{n} = \frac{1000}{4} = 250 \text{ mm}$$

$S_{maks} = 5 \times h = 5 \times 140 = 700 \text{ mm}$ atau $S_{maks} = 450 \text{ mm}$
SNI 2847-2013 7.12.2.2

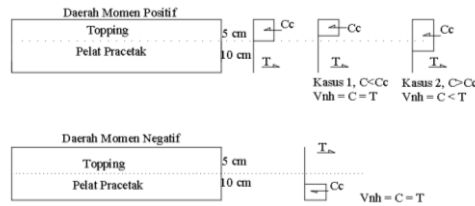
Maka direncanakan tulangan pembagi pelat lantai tipe 1 **D10-250 mm**

4.2.1.9 Penulangan Stud Pelat Lantai

Pada perencanaan yang memakai elemen pracetak dan *overtopping* cor di tempat, transfer gaya regangan horizontal yang terjadi harus dipikul oleh seluruh penampang, baik elemen pracetak maupun *overtopping* cor di tempat. Untuk mengikat elemen pracetak dan elemen cor di tempat maka dipakai tulangan stud. Stud ini berfungsi sebagai pengikat antar elemen dan mentransfer gaya – gaya dalam yang bekerja pada penampang tekan menjadi gaya geser horizontal yang bekerja pada permukaan pertemuan antara kedua elemen komposit.

Gaya geser horizontal yang terjadi pada penampang komposit ada dua macam kasus, yaitu :

- Kasus 1 : gaya tekan elemen komposit kurang dari gaya tekan beton cor di tempat
- Kasus 2 : gaya tekan elemen komposit lebih dari gaya tekan beton cor di tempat



Gambar 4.6 Diagram Gaya Geser Horizontal *Encamping* Komposit

Perhitungan stud pelat 2000 x 6000 mm²

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \times f'_c \times A_{topping} \\ &= 0,85 \times 30 \times 50 \times 1000 \\ &= 1275000 \text{ N} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan stud $\phi 10 \text{ mm}$

$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 = 78,54 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} V_{n_h} &= C = T \\ &= A_s \times f_y \\ &= 78,54 \times 400 \\ &= 31415,93 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,55A_c &= 0,55 \times b_v \times d \\ &= 0,55 \times 1000 \times 125 \\ &= 68750 \text{ N} > V_{n_h} = 31415,93 \text{ N (OK)} \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 17.5.3.2, bila pengikat minimum disediakan sesuai dengan 17.6, dan permukaan kontak bersih dan bebas kapur permukaan (*laitance*), tetapi tidak dengan

sengaja dikasarkan, V_{nh} tidak boleh diambil lebih besar dari $0,55 \cdot b_v \cdot d$. Dan menurut pasal 17.6.1 bila pengikat dipasang untuk menyalurkan geser horizontal, luas pengikat tidak boleh kurang dari yang diperlukan oleh 11.4.6.3, dan spasi pengikat tidak boleh melebihi empat kali dimensi terkecil elemen yang ditumpu, atau melebihi 600 mm.

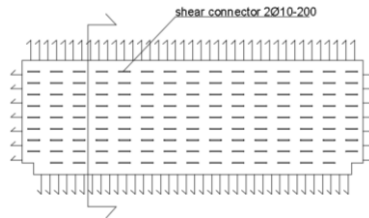
$$S_{maks} = 4h = 4 \times 50 = \mathbf{200 \text{ mm}} \text{ atau } S_{maks} = 500 \text{ mm}$$

Maka dipakai $S = 150$

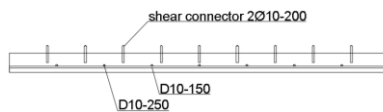
$$A_{v_{min}} = 0,062 \sqrt{f'_c} \frac{b_2 \cdot S}{f_{yt}} = 0,062 \sqrt{30} \frac{1000 \times 150}{400} = 127,35 \text{ mm}^2$$

$$\text{Atau } A_{v_{min}} = \frac{0,35 b_w S}{f_{yt}} = \frac{0,35 \times 1000 \times 150}{400} = \mathbf{131,25 \text{ mm}^2}$$

Maka direncanakan *stud* (*shear connector*) $\phi 10$ -150 mm ($A_v = 523,5 \text{ mm}^2$)



Gambar 4.7 Shear Connector pada Pelat



Gambar 4.8 Potongan Pelat

4.2.1.10 Panjang Penyaluran Tulangan Pelat

Panjang penyaluran harus disediakan cukup untuk tulangan pelat sebelum dan sesudah komposit. Panjang penyaluran didasarkan pada SNI 2847-2013 :

$$l_{dh} > 8d_b = 8 \times 10 = 80 \text{ mm} \quad \text{SNI 2847-2013 12.5.1}$$

$$l_{dh} > \mathbf{150 \text{ mm}} \quad \text{SNI 2847-2013 12.5.1}$$

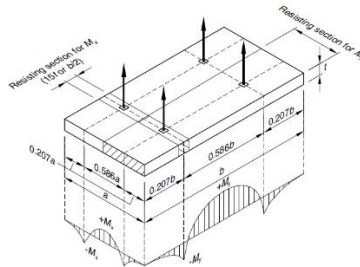
$$l_{dh} = \frac{0,24 \times f_y \times d_b}{\sqrt{f'_c}} = \frac{0,24 \times 400 \times 10}{\sqrt{30}} = 175,27 \approx 180 \text{ mm}$$

SNI 2847-2013 12.5.2

Maka direncanakan panjang penyaluran 180 mm

4.2.1.11 Perhitungan Tulangan Angkat

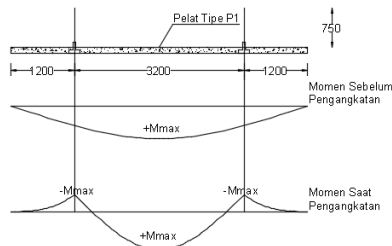
Dalam pemasangan pelat pracetak, pelat akan mengalami pengangkatan sehingga perlu direncanakan tulangan angkat untuk pelat. Pengangkatan pelat tipe P1 akan menggunakan empat titik pengangkatan.



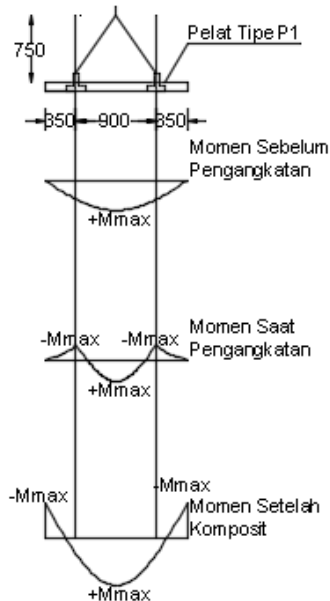
Gambar 4.9 Posisi Titik Angkat Pelat (4 Buah Titik Angkat)

(Sumber: *PCI Design Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete*)

• Perhitungan Tulangan Angkat Pelat Tipe P1



Gambar 4.10 Momen Pengangkatan Pelat Arah Memanjang



Gambar 4.11 Momen Pengangkatan Pelat Arah Melintang

Tinggi pengangkatan dari muka pelat diambil 75 cm

$k = 1,2$ (koefisien kejut)

DL (beban mati) $= 0,1 \times 1,6 \times 5,6 \times 2400 = 2150,4 \text{ kg}$

LL (beban hidup) $= 200 \text{ kg}$ (asumsi 2 orang pekerja mengatur dan mengarahkan pelat)

Qu (beban ultimate) $= 1,2(1,2DL + 1,6LL)$
 $= 1,2(1,2 \times 2150,4 + 1,6 \times 200)$
 $= 3480,58 \text{ kg}$

Tu (beban tiap tulangan) $= \frac{Qu}{4} = \frac{3480,58}{4} = 870,15 \text{ kg}$

$\sigma_{tarik \text{ ijin}} = \frac{fy}{1,5} = \frac{400}{1,5} = 2666,67 \text{ kg/cm}^2$

$A_{butuh} = \frac{Tu}{\sigma_{tarik \text{ ijin}}} = \frac{870,15}{2666,67} = 0,326 \text{ cm}^2$

$$= 32,64 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan tulangan angkat D10 ($A=78,54 \text{ mm}^2$)

• Kontrol Tulangan Angkat

$$f_{\text{pelat}} < f_{\text{cr}}$$

f_{cr} untuk beton 28 hari adalah

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{f'c} = 0,7\sqrt{30} = 3,84 \text{ MPa}$$

$$y_c = 0,5 \times 0,1 = 0,05 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} w &= (t_{\text{pelat}} \times 2400) + \frac{@\text{pekerja}}{A_{\text{pelat}}} \\ &= (0,1 \times 2400) + \frac{200}{1,6 \times 5,6} \\ &= 262,32 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan *PCI Design Handbook, Precast and Prestressed Concrete, 7th Edition*, momen maksimum diperhitungkan dengan rumus :

$$\begin{aligned} M_x &= 0,0107 \times w \times a^2 \times b \\ &= 0,0107 \times 262,32 \times 1,6^2 \times 5,6 \\ &= 40,24 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y &= 0,0107 \times w \times a \times b^2 \\ &= 0,0107 \times 262,32 \times 1,6 \times 5,6^2 \\ &= 140,84 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$T_u = 870,15 \text{ kg}$$

$$M = \frac{P \times y_c}{tg(45)} = \frac{870,15 \times 0,05}{tg(45)} = 43,51 \text{ kgm}$$

M_y ditahan oleh penampang selebar $a/2 = 1600/2 = 800 \text{ mm}$

$$Z = \frac{1}{6} \times 800 \times 10^2 = 1333333,33 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned} M_{y_{\text{total}}} &= 140,84 + 43,51 = 184,35 \text{ kgm} \\ &= 1843431,7 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$f_t = f_b = \frac{M_{\text{total}}}{Z} = \frac{1843431,7}{1333333,33} = 1,38 \text{ MPa} < f_r = 3,84 \text{ MPa}$$

Mx ditahan oleh penampang selebar $15t = 1500 \text{ mm}$ atau $b/2 = 5600/2 = 2800 \text{ mm}$

$$Z = \frac{1}{6} \times 1600 \times 10^2 = 2500000 \text{ mm}^3$$

$$M_{x_{\text{total}}} = 40,24 + 43,51 = 83,75 \text{ kgm}$$

$$= 837460,48 \text{ Nmm}$$

$$f_t = f_b = \frac{M_{\text{total}}}{Z} = \frac{837460,48}{2500000} = 0,335 \text{ MPa} < f_r = 3,84 \text{ MPa}$$

Tabel 4.4 Penulangan Pelat

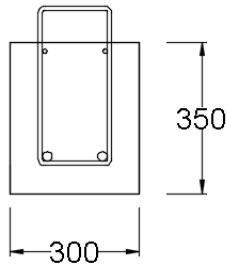
Tipe Pelat	Ukuran Pelat		Tulangan Terpasang		Stud	Tulangan Angkat
	Panjang (m)	Lebar (m)	Tulangan Utama	Tulangan Pembagi		
S1	6	2	D10-150	D10-250	D10-150	D10
S2	4	1,5	D10-150	D10-250	D10-150	D10
S3	6	2	D10-150	D10-250	D10-150	D10
S4	4	1,5	D10-150	D10-250	D10-150	D10

4.2.2 Perencanaan Balok Anak Pracetak

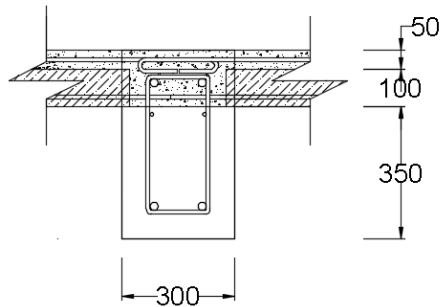
Pada perencanaan balok anak, beban yang diterima oleh balok anak berupa beban terbagi rata biasa. Itu dikarenakan pelat pracetak hanya menumpu dua titik tumpu, titik tumpu berada pada balok induk

4.2.2.1 Dimensi Awal

- Balok anak : 300 x 500 mm
- Mutu beton (f'_c) : 30 MPa
- Mutu baja (f_y) : 400 MPa
- Tulangan lentur : D22
- Tulangan sengkang : $\phi 10$



Gambar 4.12 Balok Anak Sebelum Komposit

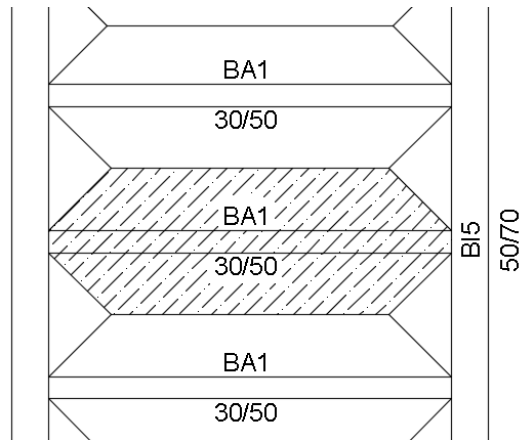


Gambar 4.13 Balok Anak Setelah Komposit

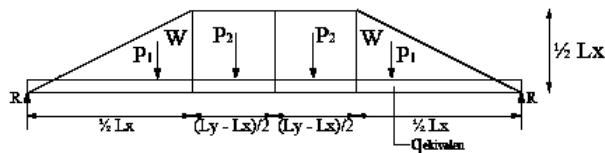
4.2.2.2 Pembebanan Balok Anak

Beban yang bekerja pada balok anak adalah berat sendiri balok anak tersebut dan semua beban merata pada pelat (termasuk berat sendiri pelat dan berat hidup merata di atasnya). Distribusi beban pada balok sedemikian rupa sehingga dianggap beban segitiga pada lajur pendek dan beban trapezium pada lajur yang panjang.

Beban – beban berbentuk trapezium maupun segitiga tersebut kemudian diubah menjadi beban merata ekuivalen. Beban ekuivalen tersebut digunakan sebagai beban merata pada balok anak maupun balok induk untuk perhitungan analisa struktur



Gambar 4.14 Distribusi Beban pada Balok Anak sebelum Komposit



Gambar 4.15 Beban Ekivalen Trapezium

Sebelum Komposit :

$$Lx = 4 - \frac{0,3}{2} - \frac{0,3}{2} = 3,7 \text{ m}$$

$$Ly = 6 - \frac{0,3}{2} - \frac{0,3}{2} = 5,7 \text{ m}$$

Menurut denah pembalokan balok anak di atas, beban ekivalensi yang digunakan adalah beban ekivalensi dua trapezium.

$$q_{ek} = \left(\frac{1}{2} \times q \times Lx \left(1 - \frac{Lx}{2Ly} \right) \right) \times 2$$

Beban – beban yang bekerja pada balok anak sebelum komposit :

a. Sebelum Komposit• **Beban Mati**

$$\begin{aligned}\text{Berat sendiri balok} &= 0,3 \times (0,5 - 0,15) \times 2400 \\ &= 252 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$q \text{ mati pelat sebelum komposit} = 240 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban mati pelat ekivalen} &= \left(\frac{1}{2} \times 240 \times 3,7 \left(1 - \frac{3,7}{2 \times 5,7} \right) \right) \times 2 \\ &= 599,8 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\text{Total beban mati (DL)} = \text{Berat sendiri balok} +$$

$$\begin{aligned}\text{Beban mati pelat ekiv.} &= 252 + 599,8 \\ &= 851,8 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

• **Beban Hidup**

$$\text{Beban pekerja} = 100 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned}\text{Beban hidup pelat ekivalen} &= \left(\frac{1}{2} \times 100 \times 3,7 \left(1 - \frac{3,7}{2 \times 5,7} \right) \right) \times 2 \\ &= 249,92 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\text{Total beban hidup (LL)} = 249,92 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}\bullet \text{ } Qu &= 1,2(DL) + 1,6(LL) \\ &= 1,2(851,8) + 1,6(249,92) \\ &= 1422,1 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

b. Sesudah Komposit• **Beban Mati**

$$\begin{aligned}\text{Berat sendiri balok} &= 0,3 \times (0,5) \times \\ 2400 &= 360 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$q \text{ mati pelat setelah komposit} = 478 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban mati pelat ekivalen} &= \left(\frac{1}{2} \times 478 \times 3,7 \left(1 - \frac{3,7}{2 \times 5,7} \right) \right) \times 2 \\ 2 &= 1194,6 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Total beban mati (DL)} &= \text{Berat sendiri balok} + \\
&\text{Beban mati pelat ekviv.} \\
&= 360 + 1194,6 \\
&= 1554,59 \text{ kg/m} \\
\bullet \text{Beban Hidup} \\
\text{Beban pekerja} &= 250 \text{ kg/m}^2 \\
\text{Beban hidup pelat ekivalen} &= \left(\frac{1}{2} \times 250 \times 3,7 \left(1 - \frac{3,7}{2 \times 5,7}\right)\right) \times \\
2 & \\
&= 624,8 \text{ kg/m} \\
\text{Total beban hidup (LL)} &= 624,8 \text{ kg/m} \\
\bullet Qu &= 1,2(DL) + 1,6(LL) \\
&= 1,2(1554,59) + 1,6(624,8) \\
&= 2865,15 \text{ kg/m}
\end{aligned}$$

4.2.2.3 Perhitungan Momen dan Gaya Geser

Perhitungan momen dan gaya lintang sesuai dengan ikhtisar momen – momen dan gaya melintang dari SNI 2847-2013 pasal 8.3.3

Momen dan Geser Sebelum Komposit

Asumsi balok berada di atas dua tumpuan sederhana (sendi-rol)

$$\begin{aligned}
Mu_{maks} &= 1/8 \times q \times L^2 \\
&= 1/8 \times 1422,1 \times 6^2 \\
&= 6399,04 \text{ kgm} \\
Vu_{maks} &= 1/2 \times q \times L \\
&= 1/2 \times 1422,1 \times 6 \\
&= 4266,03 \text{ kg}
\end{aligned}$$

Momen dan Geser Sesudah Komposit

$$\begin{aligned}
 Mu_{maks}(-) &= -1/12 \times \frac{q}{times} L^2 = -\frac{1}{12} \times 2865,15 \times 6^2 \\
 &= -8595,44 \text{ kgm} \\
 Mu_{maks}(+) &= 1/12 \times q \times L^2 = \frac{1}{12} \times 2865,15 \times 6^2 \\
 &= 8595,44 \text{ kgm} \\
 Vu_{maks} &= 1/2 \times q \times L \\
 &= 1/2 \times 2772,91 \times 6 \\
 &= 8318,73 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

4.2.2.4 Perhitungan Tulangan Lentur dan Geser Balok Anak

a. Perhitungan Tulangan Sebelum Komposit

Dimensi balok anak 300/350

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal selimut beton} &= 65 \text{ mm} \\
 D \text{ tulangan utama} &= 22 \text{ mm} \\
 \emptyset \text{ tulangan sengkang} &= 10 \text{ mm} \\
 f'_c &= 30 \text{ MPa} \\
 f_y &= 400 \text{ MPa} \\
 d' &= \text{decking} + \text{sengkang} + 0,5 D \\
 &= 65 + 10 + 0,5(22) \\
 &= 86 \text{ mm} \\
 d &= 350 - 65 - 22/2 - 10 \\
 &= 264 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f'_c - 28}{7} = 0,836 \quad \text{SNI 2847-2013 10.2.7.3}$$

$$\rho_{min} = 0,25 \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} = 0,25 \frac{\sqrt{30}}{400} = \mathbf{0,0035} \quad \text{SNI 2847-2013 10.5.1}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0034 \quad \text{SNI 2847-2013 10.5.1}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{63990315,8}{0,9 \times 300 \times 264^2} = 3,41$$

$$\rho_{butuh} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}} \right) = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 3,41}{400}} \right) = 0,0092$$

$$\rho_{pakai} = 0,0092$$

• Tulangan Lentur Lapangan

$$As_{butuh} = \rho b d = 0,0092 \times 300 \times 264 = 725,42 \text{ mm}^2$$

$$As_{D22} = 387 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As_{butuh}}{As_{D19}} = \frac{725,43}{387} = 1,88 \approx 2$$

Maka direncanakan menggunakan tulangan lentur 2D22

• Tulangan Geser

$$\emptyset \text{ tulangan geser} = 10 \text{ mm}$$

$$d = 264 \text{ mm}$$

$$Vu = 4266,03 \text{ kg} = 42660,3 \text{ N}$$

$$Vc = \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \times b \times d = \frac{1}{6} \sqrt{30} \times 300 \times 264 = 84349,28 \text{ N}$$

SNI 2847-2013 11.2.1.1

$$\phi Vc = 0,75 \times 84349,28 = 63261,96 \text{ N}$$

$$0,5 \phi Vc = 0,5 \times 63261,96 = 31630,98 < Vu = 42660,3 \text{ N}$$

Maka dibutuhkan tulangan geser minimum. Dipakai tulangan $\emptyset 10 \text{ mm}$ dengan mutu baja BJTP 240 ($fy=240 \text{ MPa}$)

$$Vs = \frac{Vu}{\phi} = \frac{42660,3}{0,75} = 56880,29 \text{ N}$$

$$Av = 2 \times \frac{1}{4} \pi d^2 = 2 \times \frac{1}{4} \pi 10^2 = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{Av \times fy \times d}{Vs} = \frac{157,08 \times 400 \times 264}{56880,29} = 291,6 \text{ mm}$$

SNI 2847-2013 11.4.7.2

$$S_{maks} = \frac{d}{2} = \frac{264}{2} = 132 \text{ mm} \quad \text{SNI 2847-2013 11.4.5.1}$$

atau = 600 mm

Maka digunakan sengkang Ø10-100 mm

b. Perhitungan Tulangan Sesudah Komposit

Dimensi balok anak 300/500

Tebal selimut beton = 65 mm

D tulangan utama = 22 mm

Ø tulangan sengkang = 10 mm

f'_c = 30 MPa

f_y = 400 MPa

d' = decking + sengkang + 0,5 D

$$= 65 + 10 + 0,5(22)$$

$$= 86 \text{ mm}$$

d = 500 – 65 – 22/2-10

$$= 414 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f'_c - 28}{7} = 0,836 \quad \text{SNI 2847-2013 10.2.7.3}$$

$$\rho_{min} = 0,25 \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} = 0,25 \frac{\sqrt{30}}{400} = \mathbf{0,0035} \text{ atau}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0034 \quad \text{SNI 2847-2013 10.5.1}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

• Tulangan Lentur Lapangan

$$Mu = 85954378,9 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{85954378,9}{0,9 \times 300 \times 414^2} = 1,86$$

$$\rho_{butuh} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{f_y}} \right) = \frac{1}{15,69} \left(1 - \right.$$

$$\left. \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 1,86}{400}} \right) = 0,0049$$

$$As_{butuh} = \rho b d = 0,0049 \times 300 \times 414 = 599,41 \text{ mm}^2$$

$$As_{D22} = 387 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As_{butuh}}{As_{D22}} = \frac{599,41}{387} = 1,55 \approx 2$$

Maka direncanakan menggunakan tulangan lentur lapangan 2D22

- Tulangan Lentur Tumpuan

$$Mu = 85954378,9 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{85954378,9}{0,9 \times 300 \times 414^2} = 1,86$$

$$\rho_{butuh} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}} \right) = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 1,86}{400}} \right) = 0,0049$$

$$As_{butuh} = \rho b d = 0,0049 \times 300 \times 414 = 599,41 \text{ mm}^2$$

$$As_{D22} = 387 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As_{butuh}}{As_{D22}} = \frac{599,41}{387} = 1,55 \approx 2$$

Maka direncanakan menggunakan tulangan lentur tumpuan 2D22

- Tulangan Geser

$$\emptyset \text{ tulangan geser} = 10 \text{ mm}$$

$$d = 500 - 65 - 10 - 22/2$$

$$= 414 \text{ mm}$$

$$Vu = 8595,44 \text{ kg} = 85954,4 \text{ N}$$

$$Vc = \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \times b \times d = \frac{1}{6} \sqrt{30} \times 300 \times 414 = 188964,29 \text{ N}$$

SNI 2847-2013 11.2.1.1

$$\phi Vc = 0,75 \times 188964,29 = 141723,22 \text{ N}$$

$$0,5\phi Vc = 0,5 \times 141723,22 = 70861,61 \text{ N}$$

$$0,5\phi Vc \leq Vu < \phi Vc$$

Maka dibutuhkan tulangan geser minimum. Dipakai tulangan $\emptyset 10$ mm dengan mutu baja BJTP 240 ($fy=240$ MPa)

$$Vs = \frac{Vu}{\phi} = \frac{85954,4}{0,75} = 114605,84 \text{ N}$$

$$A_v = 2 \times \frac{1}{4} \pi d^2 = 2 \times \frac{1}{4} \pi 10^2 = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{157,08 \times 400 \times 414}{114605,84} = 226,98 \text{ mm}$$

SNI 2847-2013 11.4.7.2

$$S_{\text{maks}} = \frac{d}{2} = \frac{414}{2} = 207 \text{ mm}$$

SNI 2847-2013 11.4.5.1

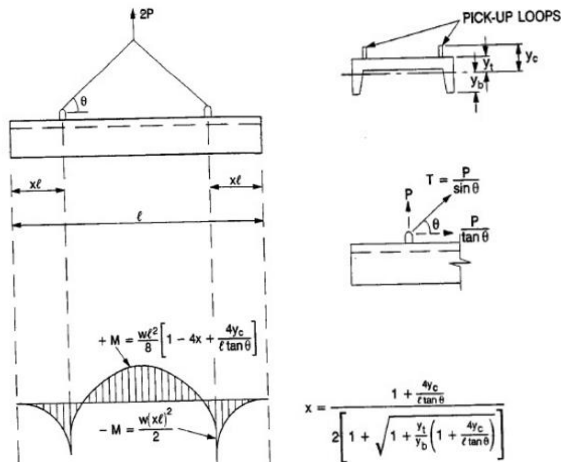
$$\text{atau} = 600 \text{ mm}$$

$$A_{V_{\min}} = 0,062 \sqrt{f'_c} \frac{b_s}{f_y} = 0,062 \sqrt{30} \times \frac{300 \times 100}{240} = 42,45 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan sengkang Ø10-100 mm ($A_v = 157,08 \text{ mm}^2$)

4.2.2.5 Pengangkatan Balok Anak

Balok anak pracetak dibuat di pabrik. Elemen balok harus dirancang untuk menghindari kerusakan pada saat pengangkatan. Titik pengangkatan dan kekuatan tulangan angkat harus menjamin keamanan elemen balok tersebut dari kerusakan.



Gambar 4.16 Momen Saat Pengangkatan Balok Anak

Dimana :

$$+M = \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{L \times \tan(\theta)} \right)$$

$$-M = \frac{WX^2}{2}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4Y_c}{L \times \tan(\theta)}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{Y_t}{Y_b} \left(1 + \frac{4Y_c}{L \times \tan(\theta)} \right)} \right)}$$

a. Kondisi sebelum komposit

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$h = 500 - 150 = 350 \text{ mm}$$

$$L = 5600 \text{ mm}$$

Perhitungan :

$$Y_t = Y_b = \frac{500 - 150}{2} = 175 \text{ mm}$$

$$I = \frac{1}{12} \times 300 \times 250^3 = 3125000000 \text{ mm}^4$$

$$= 312500 \text{ cm}^4$$

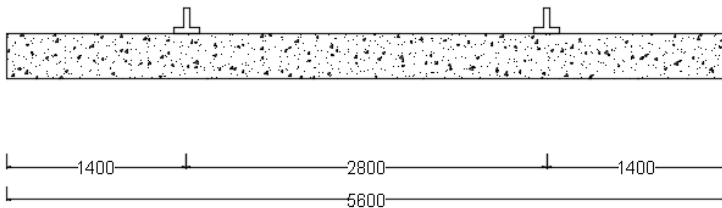
$$Y_c = Y_t + 50 = 225 \text{ mm}$$

$$= 22,5 \text{ cm}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4 \times 23}{560 \times \tan(45^\circ)}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \left(1 + \frac{4 \times 23}{560 \times \tan(45^\circ)} \right)} \right)} = 0,235$$

$$X \times L = 0,235 \times 560 = 1315,9 \approx 1400 \text{ mm}$$

$$L - 2XL = 5600 - 2 \times 1400 = 2800 \text{ mm}$$



Gambar 4.17 Letak Titik Pengangkatan

b. Perhitungan beban saat pengangkatan

$$\begin{aligned}\text{Balok} &= 0,3 \times 0,35 \times 5,6 \times 2400 \\ &= 1411,2 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tsin}(\alpha) = P &= \frac{1,2 \times k \times W}{2} \\ &= \frac{1,2 \times 1,2 \times 2016}{2} \\ &= 1436,94 \text{ kg}\end{aligned}$$

c. Tulangan angkat balok anak

$$P_u = 1436,94 \text{ kg}$$

$$\sigma_{\text{tarik ijin}} = \frac{2400}{1,5} = 1600 \text{ kg/m}^2$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{P_u}{\sigma_{\text{ijin}} \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{1436,94}{1600 \times \pi}} = 0,54 \text{ cm}$$

Maka digunakan tulangan $\phi 10 \text{ mm}$

d. Momen yang terjadi

$$\text{Beban balok} = 0,3 \times 0,35 \times 2400 = 252 \text{ kg/m}$$

$$k (\text{beban kejut}) = 1,2$$

$$\begin{aligned}+M &= \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Yc}{L \times \tan(\theta)} \right) \times k \\ &= \frac{252 \times 5,6^2}{8} \left(-4 \times 1,4 + \frac{4 \times 0,225}{5,6 \times \tan(45)} \right) 1,2 \\ &= 261,79 \text{ kgm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}-M &= \frac{WX^2}{2} \\ &= \frac{252 \times 1,4^2}{2} \\ &= 246,96 \text{ kgm}\end{aligned}$$

e. Tegangan yang terjadi

$$W_t = \frac{1}{6}bh^2 = \frac{300 \times 350^2}{6} = 6125000 \text{ mm}^3$$

$$f = \frac{M}{Wt} = \frac{2469600}{6125000} = 0,43 \text{ MPa} \leq 0,7\sqrt{30} = 3,83 \text{ MPa}$$

(OK)

Dari perhitungan di atas, didapatkan nilai f akibat momen kurang dari nilai $f'_{r_{ijin}}$ usia beton 3 hari. Jadi dapat ditarik kesimpulan, balok anak tersebut aman dalam menerima tegangan akibat pengangkatan

4.2.2.6 Kontrol Lendutan

Komponen struktur beton yang mengalami lentur harus dirancang agar memiliki kekakuan yang cukup untuk batas deformasi yang akan memperlemah kemampuan layan struktur saat bekerja. Sesuai SNI 2847:2013, syarat tebal minimum balok dengan dua tumpuan apabila lendutan tidak dihitung adalah sebagai berikut:

$$h_{min} = \frac{lb}{16}$$

Lendutan tidak perlu dihitung sebab sejak *preliminary design* telah direncanakan agar tinggi dari masing – masing tipe balok lebih besar dari persyaratan h_{min} .

4.2.2.7 Pemutusan Tulangan

Penyaluran tulangan momen negatif (SNI 2847-2013 12.12.3)

Balok anak 300/500

$$l_{min} = d = 460,5 \text{ mm} \text{ atau}$$

$$l_{min} = 12d_b = 12 \times 19 = 228 \text{ mm} \text{ atau}$$

$$l_{min} = \frac{l_n}{16} = \frac{5600}{16} = 350 \text{ mm}$$

Direncanakan panjang penyaluran $l = 470 \text{ mm}$

Tabel 4.5 Penulangan Balok Anak setelah Komposit

Kode Balok Anak	Bentang Kotor (Lb)	Tulangan Terpasang		Tulangan Sengkang	Tulangan Angkat
	m	Tulangan Tumpuan	Tulangan Lapangan		
BA1	6	2D22	2D22	Φ10-100	Φ10
BA2	4	2D22	2D22	Φ10-100	Φ10

4.2.3 Perencanaan Tangga

Pada perencanaan ini, struktur tangga dimodelkan sebagai *frame* statis tertentu dengan kondisi ujung perletakan berupa sendi dan rol (rol diletakkan pada ujung bordes). Struktur tangga ke atas dan ke bawah tipikal

4.2.3.1 Dimensi Awal

Data – Data Perencanaan:

- f'_c = 30 MPa
- f_y = 400 MPa
- Tinggi antar lantai = 4 m
- Panjang bordes = 3 m
- Lebar bordes = 1.5 m
- Lebar tangga = 1.5 m
- Tebal pelat tangga (tp) = 20 cm
- Tebal pelat bordes = 20 cm
- Tinggi injakan (t) = 20 cm
- Lebar injakan (i) = 25 cm
- Jumlah tanjakan (n_T) = $\frac{\text{tinggi lantai}}{t} = 20$ buah
- Jumlah injakan (n_i) = $\frac{\text{panjang lantai}}{i} = 20$ buah
- Jumlah tanjakan ke bordes = 10 buah
- Jumlah tanjakan dari bordes ke lantai 2 = 10 buah
- Elevasi bordes = $\text{jumlah tanjakan} \times t$

$$= 10 \times 20 = 200 \text{ cm}$$

- Panjang horizontal pelat tangga = *jumlah tanjakan* $\times i$
 $= 25 \times 10$
 $= 250 \text{ cm}$

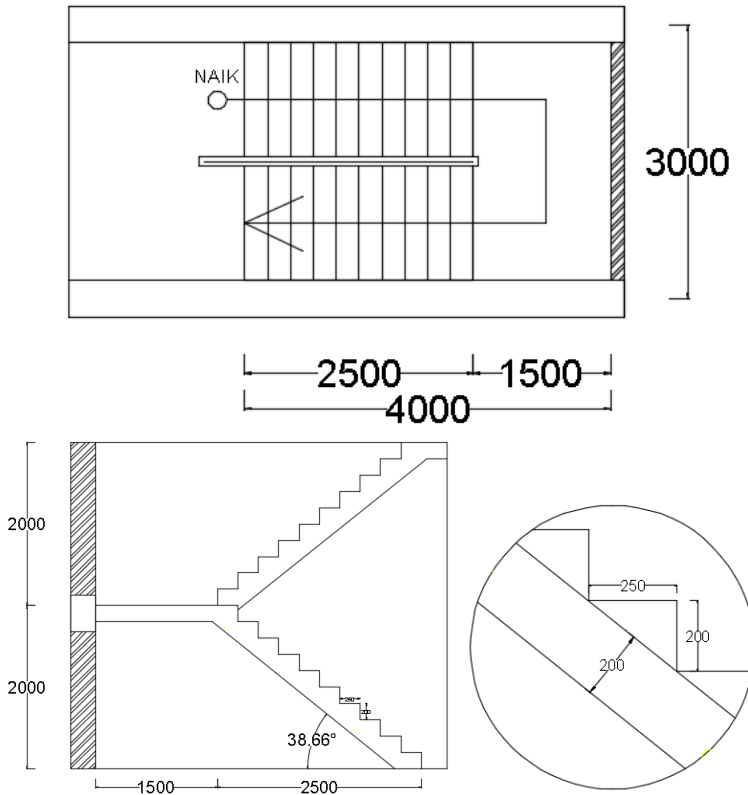
- Kemiringan tangga (α)

$$\arctan(\alpha) = \frac{\text{elevasi bordes}}{\text{panjang horizontal plat tangga}} = \frac{200}{250} = 0,8$$

$$\alpha = 38,66^\circ$$

Cek syarat:

- $60 \leq (2t + i) \leq 65$
 $60 \leq (2 \times 20 + 25) \leq 65$
 $60 \leq 65 \leq 65$
- $25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$
 $25^\circ \leq 38,66 \leq 40^\circ$
- Tebal plat rata-rata anak tangga (tr) = $\left(\frac{i}{2}\right)\sin(\alpha)$
 $= \left(\frac{25}{2}\right)\sin(38,66)$
 $= 7,81 \text{ cm}$
- Tebal plat rata-rata
 $= tp + tr$
 $= 20 + 7,81$
 $= 27,81 \text{ cm}$



Gambar 4.18 Perencanaan Tangga

4.2.3.2 Perhitungan Pembebanan dan Analisa Struktur

a. Pembebanan Tangga

Beban Mati (DL)

$$\text{Plat tangga} = \frac{0,2781}{\cos(38,66)} \times 2400 \times 1 = 667,409 \text{ kg/m}$$

$$\text{Tegel horizontal} = 24 \text{ kg/m}$$

$$\text{Tegel vertikal} = 24 \text{ kg/m}$$

$$\text{Spesi horizontal (2cm)} = 42 \text{ kg/m}$$

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Spesi vertikal (1cm)} & = & 42 \text{ kg/m} \\
 \text{Tegel (1cm)} & = & 24 \text{ kg/m} \\
 \text{Sandaran} & = & 50 \text{ kg/m} + \\
 \hline
 \text{Total beban mati (DL)} & = & 873,409 \text{ kg/m}
 \end{array}$$

Beban Hidup (LL)

$$\text{Total beban hidup (LL)} = 500 \text{ kg/m}$$

Kombinasi Beban :

$$\begin{aligned}
 Q_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\
 &= 1,2 (873,409) + 1,6 (500) \\
 &= 1848,09 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

b. Pembebanan Plat Bordes

Beban Mati (DL)

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Plat bordes} & = 0,2 \times 2400 \times 1 & = 480 \text{ kg/m} \\
 \text{Spesi (2cm)} & = 2 \times 21 \times 1 & = 42 \text{ kg/m} \\
 \text{Tegel} & = 24 \times 1 & = 24 \text{ kg/m} + \\
 \hline
 \text{Total beban mati (DL)} & = & 546 \text{ kg/m}
 \end{array}$$

Beban Hidup (LL)

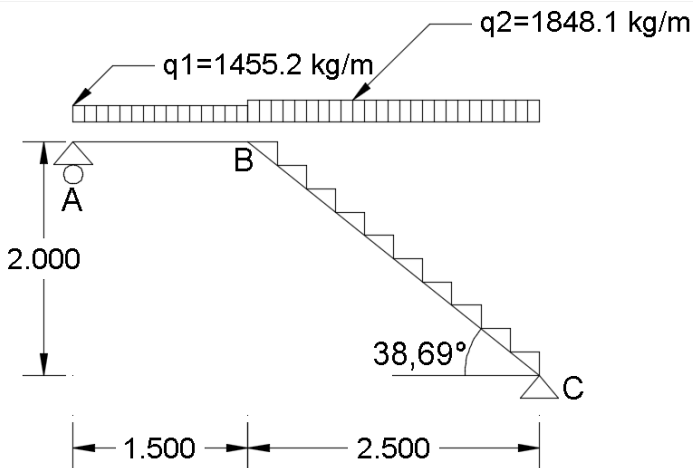
$$\text{Total beban hidup (LL)} = 500 \text{ kg/m}$$

Kombinasi Beban

$$\begin{aligned}
 Q_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\
 &= 1,2 (546) + 1,6 (500) \\
 &= 1455,2 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

4.2.3.3 Analisa Gaya-Gaya Dalam

Pada proses analisis struktur tangga digunakan perhitungan statis tertentu dengan mengasumsikan perletakan tangga Sendi-Rol.



Gambar 4.19 Distribusi Beban pada Tangga

- $\Sigma MA = 0$
 $4Vc - q_2 \times 2,5 \times 2,75 - q_1 \times 1,5 \times 0,75 = 0$
 $4Vc - 14342,72 = 0$
 $Vc = 3585,68 \text{ kg}$
- $\Sigma MC = 0$
 $4Va - q_2 \times 2,5 \times 1,25 - q_1 \times 1,5 \times 3,25 = 0$
 $4Va - 12869,38 = 0$
 $Va = 3217,35 \text{ kg}$

Kontrol

- $\Sigma VA = 0$
 $3217,35 + 3585,68 = 1455,2 \times 1,5 + 1848,1 \times 2,5$
 $6803,026 - 6803,026 = 0$

Pelat bordes A-B (1,5 m)

- a. Gaya Momen (M)

$$M_x = Va \times x - \frac{q_1}{2} \times x^2$$

$$M_A = 0 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned} M_B &= 3217,35 \times 1,5 - \frac{1455,2}{2} \times 1,5^2 \\ &= 3188,918 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$M_x' = Va - q1 \times x$$

$$0 = 3217,35 - 1455,2 \times x$$

x (M maks) = 2,21 m > 1,5 m berarti M maksimum berada pada titik B

- b. Gaya Lintang (D)

$$\begin{aligned} D_{Akanan} &= Va \\ &= 3217,345 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_{Bkiri} &= Va - q1 \times x \\ &= 3217,345 - 1455,2 \times 1,5 \\ &= 1034,545 \text{ kg} \end{aligned}$$

- c. Gaya Normal (N)

$$N_{A-B} = 0 \text{ kg}$$

Pelat tangga C-B (2,5 m)

- a. Gaya Momen (M) (Dari arah kanan)

$$M_x = Vc \times x - \frac{q2}{2} \times x^2$$

$$M_C = 0 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned} M_B &= 3585,68 \times 2,5 - \frac{1848,1}{2} \times 2,5^2 \\ &= 3188,918 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_x' &= Vc - q2 \times x \\ &= 3585,68 - 1848,1 \times x = 0 \end{aligned}$$

$$x = 1,94 \text{ m (Momen maksimum terjadi di titik ini)}$$

$$\begin{aligned} M_{maks} &= 3585,68 \times 1,94 - \frac{1848,1}{2} \times 1,94^2 \\ &= 3478,483 \text{ kgm} \end{aligned}$$

- b. Gaya Lintang (D) (Dari arah kanan)

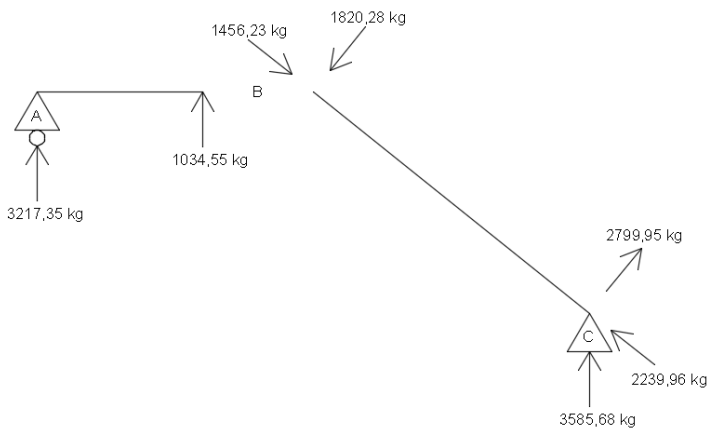
$$\begin{aligned} D_{Ckiri} &= Vc \times \cos(\alpha) \\ &= 3585,68 \times \cos(38,66) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2799,95 \text{ kg} \\
 D_{Bkanan} &= (Vc - q2 \times x) \times \cos(\alpha) \\
 &= (3217,345 - 1455,2 \times 2,5) \times \cos(38,66) \\
 &= -1820,28 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

c. Gaya Normal (N)

$$\begin{aligned}
 N_C &= Vc \times \sin(\alpha) \text{ kg} \\
 &= -3585,68 \times \sin(38,66) \\
 &= -2239,96 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

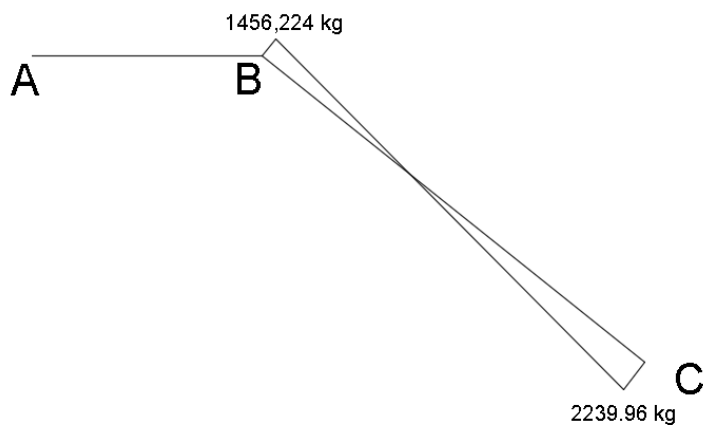
$$\begin{aligned}
 N_B &= (-Vc + q2 \times 2,5) \times \sin(\alpha) \text{ kg} \\
 &= (-3585,68 + 1455,2 \times 2,5) \times \sin(38,66) \\
 &= 1456,224 \text{ kg}
 \end{aligned}$$



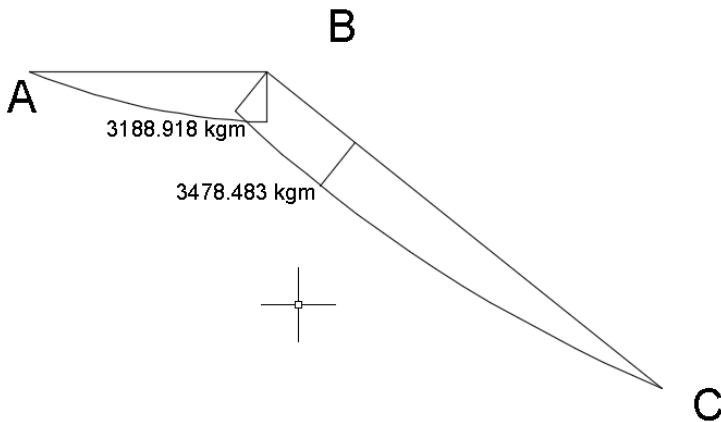
Gambar 4.20 Free body Diagram Gaya – Gaya pada Tangga



Gambar 4.21 Gaya Lintang (D) pada Tangga



Gambar 4.22 Gaya Normal (N) pada Tangga



Gambar 4.23 Gaya Momen (M) pada Tangga

4.2.3.4 Perhitungan Tulangan Pelat Tangga dan Bordes

a. Data - Data Perencanaan

Mutu beton (f'_c) = 30 MPa
 Mutu baja (f_y) = 400 MPa
 Berat jenis beton = 2400 MPa

Diameter tulangan utama = 16 mm

Diameter tulangan arah y = 13 mm

Tebal pelat tangga = 200 mm

Tebal pelat bordes = 200 mm

Tebal selimut beton = 20 mm

$\beta_1 = 0,83$ SNI 03 – 2847 – 2013 pasal 10.2.7.3

$$\rho_{min} = \frac{1}{4} \times \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} = 0,0034$$

$$\text{Atau} = \frac{1,4}{f_y} = \mathbf{0,0035}$$

$$\phi = 0,9$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = 15,69$$

$$d = 200 - 20 - \frac{16}{2} = 172 \text{ mm}$$

b. Penulangan Pelat Tangga

• Tulangan Utama

$$\begin{aligned} Mu &= 3478,483 \text{ kgm} \\ &= 34784832 \text{ Nmm} \\ Rn &= \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{34784832}{0,9 \times 1000 \times 172^2} = 1,31 \\ \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{f_y}} \right) = 0,00336 \\ \rho &= 0,0035 \\ As &= \rho b d = 0,0035 \times 1000 \times 172 = 602 \text{ mm}^2 \\ A_{D16} &= \frac{1}{4} \pi d^2 = 201,06 \text{ mm}^2 \\ n &= \frac{As}{A_{D16}} = 2,995 \approx 3 \\ s &= \frac{\frac{1000}{n}}{n} = 333,33 \text{ mm} \\ s_{maks} &= 5d = 5 \times 200 = 1000 \text{ mm} \\ \text{Atau} &= \mathbf{450 \text{ mm}} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan lentur D16-300 mm

• Penulangan arah melintang pelat

Penulangan arah y dipasang tulangan susut dan suhu dengan : $\rho = 0,002$

$$\begin{aligned} \text{Diameter tulangan} &= 16 \text{ mm} \\ f_y &= 400 \text{ MPa} \\ \rho &= 0,002 \\ A_{sperlu} &= \rho b d = 0,002 \times 1000 \times 172 = 344 \text{ mm}^2 \\ A_{D16} &= \frac{1}{4} \pi d^2 = 201 \text{ mm}^2 \\ n &= \frac{A_{sperlu}}{A_{D16}} = \frac{344}{201} = 1,71 \approx 2 \\ s_{perlu} &= \frac{\frac{1000}{n}}{n} = 500 \text{ mm} \\ s_{maks} &= 5 \times h = 5 \times 200 = 1000 \text{ mm} \\ \text{Atau} &= 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan D16-450 mm

c. Penulangan Pelat Bordes

• Tulangan Utama

$$\begin{aligned}
 Mu &= 3556,67 \text{ kgm} \\
 &= 35566630 \text{ Nmm} \\
 Rn &= \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{35566630}{0,9 \times 1000 \times 172^2} = 1,34 \\
 \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}} \right) = 0,00344 \\
 \rho &= 0,0035 \\
 As &= \rho b d = 0,0035 \times 1000 \times 172 = 602 \text{ mm}^2 \\
 A_{D16} &= \frac{1}{4} \pi d^2 = 201 \text{ mm}^2 \\
 n &= \frac{As}{A_{D16}} = 2,995 \approx 3 \\
 s &= \frac{1000}{n} = 333,33 \text{ mm} \\
 s_{maks} &= 5d = 5 \times 200 = 1000 \text{ mm} \\
 \text{Atau} &= 450
 \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan D16-300 mm

• Penulangan arah melintang pelat

Penulangan arah y dipasang tulangan susut dan suhu dengan : $\rho = 0,002$

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter tulangan} &= 16 \text{ mm} \\
 fy &= 400 \text{ MPa} \\
 \rho &= 0,002 \\
 As_{perlu} &= \rho b d = 0,002 \times 100 \times 172 = 344 \text{ mm}^2 \\
 A_{D16} &= \frac{1}{4} \pi d^2 = 201 \text{ mm}^2 \\
 n &= \frac{As_{perlu}}{A_{D16}} = \frac{344}{201} = 1,72 \approx 2 \\
 s &= \frac{1000}{n} = 500 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan D16-450 mm

d. Penulangan Balok Bordes**• Perencanaan dimensi balok bordes**

$$h = \frac{1}{16} L = \frac{300}{16} = 18,75 \text{ cm} \approx 45 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = 30 \text{ cm}$$

Maka digunakan dimensi balok bordes 30/45

$$H = 4 \text{ m}$$

$$\text{Berat dinding} = 250 \text{ kg/m}^2$$

• Pembebanan balok bordes**Beban mati**

$$\text{Berat sendiri balok} = 0,3 \times 0,45 \times 2400 = 324 \text{ kg/m}$$

$$\begin{array}{rcl} \text{Berat dinding} & = 2 \times 250 & = 500 \text{ kg/m}+ \\ & \text{qd} & = 824 \text{ kg/m} \end{array}$$

$$qu = 1,4qd = 1,4 \times 824 = 1153,6 \text{ kg/m}$$

$$\begin{array}{rcl} \text{Beban pelat bordes} & = \frac{2}{1,5} \times 1455,2 & = 1940,3 \text{ kg/m}+ \\ & qu \text{ total} & = 3093,9 \text{ kg/m} \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} \text{Momen tumpuan} & = \frac{1}{16} \times qu \times l^2 & = 1740,3 \text{ kgm} \\ & & = 17403000 \text{ Nmm} \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} \text{Momen lapangan} & = \frac{1}{11} \times qu \times l^2 & = 2531,4 \text{ kgm} \\ & & = 25314000 \text{ Nmm} \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} Vu \text{ total} & = 0,5 \times qu \times l & = 4640,8 \text{ kg} \\ & & = 46408 \text{ N} \end{array}$$

• Penulangan lentur balok bordes

$$\text{Diameter sengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan utama} = 16 \text{ mm (deformed)}$$

$$\text{Selimut beton} = 40 \text{ mm}$$

$$d = 450 - 40 - 10 - \frac{16}{2} = 392 \text{ mm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\phi = 0,9$$

○ Penulangan Tumpuan

$$Mu = 17403000 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{17403000}{0,9 \times 300 \times 392^2} = 0,42$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right) = 0,0011$$

$$\rho_{min} = 0,0035$$

$$As_{perlu} = \rho_{min} \times b \times d = 411,6 \text{ mm}^2$$

$$A_{D16} = 199 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As_{perlu}}{A_{D16}} = \frac{411,6}{199} = 2,07 \approx 4$$

Maka digunakan tulangan lentur tumpuan atas 4D16

$$As'_{perlu} = 0,5As_{perlu} = 205,8 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As_{perlu}}{A_{D16}} = \frac{205,8}{199} = 1,03 \approx 2$$

Maka digunakan tulangan lentur tumpuan bawah 2D16

○ Penulangan Lapangan

$$Mu = 25313455 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{25313455}{0,9 \times 300 \times 392^2} = 0,61$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right) = 0,0011$$

$$\rho_{min} = 0,0035$$

$$As_{perlu} = \rho_{min} \times b \times d = 411,6 \text{ mm}^2$$

$$A_{D16} = 199 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As_{perlu}}{A_{D16}} = \frac{411,6}{199} = 2,07 \approx 3$$

Maka digunakan tulangan lentur lapangan bawah 3D16

$$As'_{perlu} = 0,5As_{perlu} = 205,8 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As_{perlu}}{A_{D16}} = \frac{205,8}{199} = 1,03 \approx 2$$

Maka digunakan tulangan lentur lapangan atas 2D16

• **Penulangan Tulangan Geser Balok Bordes**

$$Vu_{total} = 46408 \text{ N}$$

$$Vc = \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \times bw \times d = \frac{1}{6} \sqrt{30} \times 300 \times 392 = 107353,6 \text{ N}$$

$$\phi Vc = 0,75 \times 107353,6 = 80515,22 \text{ N}$$

$$0,5\phi Vc = 0,5 \times 80515,22 = 40257,61 \text{ N}$$

Karena $0,5\phi Vc \leq Vu < \phi Vc$, maka dibutuhkan tulangan geser minimum.

$$Av = 2 \times A_{\phi 10} = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 = 157,0 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{Av \times fyt}{0,062 \times \sqrt{f'c} \times bw} = \frac{157 \times 240}{0,062 \times \sqrt{30} \times 300} = 371 \text{ mm}$$

$$smaks = \frac{d}{2} = \frac{392}{2} = 196 \text{ mm}$$

$$\text{atau} = 600 \text{ mm}$$

Maka digunakan tulangan geser $\phi 10$ -150 mm

4.2.4 Perencanaan Ramp

Pada perencanaan ini, struktur ramp dimodelkan sebagai *frame* statis tertentu dengan kondisi ujung perletakan berupa sendi dan rol (rol diletakkan pada ujung bordes). Struktur ramp ke atas dan ke bawah tipikal

4.2.4.1 Dimensi Awal

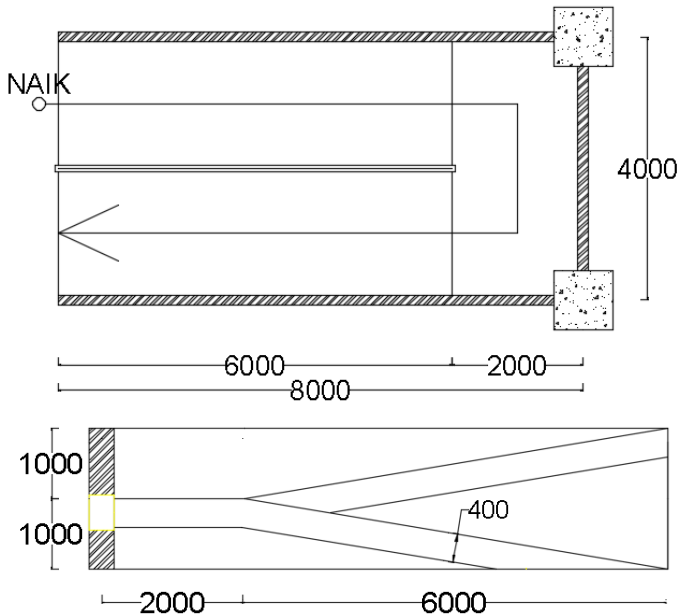
Data – Data Perencanaan:

- $f'c$ = 30 MPa
- f_y = 400 MPa
- Panjang bordes = 2 m
- Lebar bordes = 4 m
- Lebar ramp = 2 m
- Tebal pelat ramp (tp) = 40 cm
- Tebal pelat bordes = 40 cm

- Elevasi bordes = 100 cm
- Panjang horizontal pelat ramp = 600 cm
- Kemiringan ramp (α)

$$\arctan(\alpha) = \frac{\text{elevasi bordes}}{\text{panjang horizontal pelat ramp}} = \frac{100}{600} = 0,167$$

$$\alpha = 9,46^\circ$$



Gambar 4.24 Perencanaan Ramp

4.2.4.2 Perhitungan Pembebanan dan Analisa Struktur

a. Pembebanan Ramp

Beban Mati (DL)

$$\text{Plat ramp} = \frac{0,4}{\cos(9,46)} \times 2400 \times 1 = 973,25 \text{ kg/m}$$

$$\text{Tegel} = 24 \text{ kg/m}$$

$$\text{Spesi (2cm)} = 42 \text{ kg/m}$$

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Tegel (1cm)} & & = 24 \text{ kg/m} \\
 \text{Sandaran} & & = 50 \text{ kg/m} + \\
 \hline
 \text{Total beban mati (DL)} & = & 1089,25 \text{ kg/m}
 \end{array}$$

Beban Hidup (LL)

$$\text{Total beban hidup (LL)} = 400 \text{ kg/m}$$

Kombinasi Beban :

$$\begin{aligned}
 Q_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\
 &= 1,2 (1089,25) + 1,6 (400) \\
 &= 1947,1 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

b. Pembebanan Plat Bordes

Beban Mati (DL)

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Plat bordes} & = 0,4 \times 2400 \times 1 & = 960 \text{ kg/m} \\
 \text{Spesi (2cm)} & = 2 \times 21 \times 1 & = 42 \text{ kg/m} \\
 \text{Tegel} & = 24 \times 1 & = 24 \text{ kg/m} + \\
 \hline
 \text{Total beban mati (DL)} & = & 1026 \text{ kg/m}
 \end{array}$$

Beban Hidup (LL)

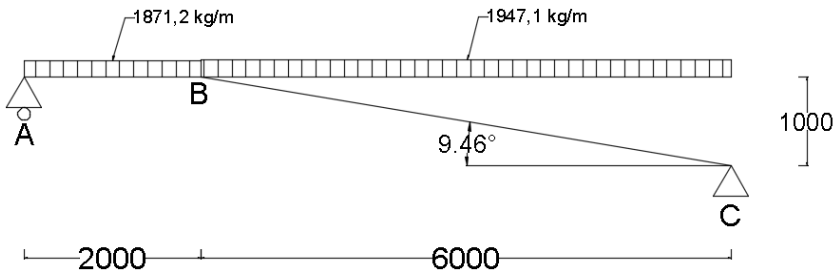
$$\text{Total beban hidup (LL)} = 400 \text{ kg/m}$$

Kombinasi Beban

$$\begin{aligned}
 Q_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\
 &= 1,2 (1026) + 1,6 (400) \\
 &= 1871,2 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

4.2.4.3 Analisa Gaya-Gaya Dalam

Pada proses analisis struktur tangga digunakan perhitungan statis tertentu dengan mengasumsikan perletakan tangga Sendi-Rol.



Gambar 4.25 Distribusi Beban pada Ramp

- $\Sigma MA = 0$
 $8V_c - q_2 \times 6 \times 5 - q_1 \times 2 \times 1 = 0$
 $8V_c - 58412,72 - 3742,4 = 0$
 $V_c = 7769,39 \text{ kg}$
- $\Sigma MC = 0$
 $8V_a - q_2 \times 6 \times 3 - q_1 \times 2 \times 7 = 0$
 $8V_a - 35047,63 - 26196,8 = 0$
 $V_a = 7655,56 \text{ kg}$

Kontrol

- $\Sigma V = 0$
 $7769,39 + 7655,56 = 1947,1 \times 6 + 1871,2 \times 2$
 $15424,95 - 15424,95 = 0$

Pelat bordes A-B (2 m)

a. Gaya Momen (M)

$$\begin{aligned}
 M_x &= V_a \times x - \frac{q_1}{2} \times x^2 \\
 M_A &= 0 \text{ kgm} \\
 M_B &= 7655,56 \times 2 - \frac{1871,2}{2} \times 2^2 \\
 &= 11568,71 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_x' &= Va - q1 \times x \\
 0 &= 7655,56 - 1871,2 \times x \\
 x \text{ (M maks)} &= 4,09 \text{ m} > 2 \text{ m berarti M maksimum berada} \\
 &\text{pada titik B}
 \end{aligned}$$

- b. Gaya Lintang (D)

$$\begin{aligned}
 D_{Akanan} &= Va \\
 &= 7655,56 \text{ kg} \\
 D_{Bkiri} &= Va - q1 \times x \\
 &= 7655,56 - 1871,2 \times 2 \\
 &= 3913,16 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- c. Gaya Normal (N)

$$N_{A-B} = 0 \text{ kg}$$

Pelat ramp C-B (6 m)

- a. Gaya Momen (M) (Dari arah kanan)

$$\begin{aligned}
 M_x &= Vc \times x - \frac{q2}{2} \times x^2 \\
 M_C &= 0 \text{ kgm} \\
 M_B &= 7769,39 \times 6 - \frac{1947,1}{2} \times 6^2 \\
 &= 11568,71 \text{ kgm} \\
 M_x' &= Vc - q2 \times x \\
 &= 7769,39 - 1947,1 \times x = 0 \\
 x &= 3,989 \text{ m (Momen maksimum terjadi di titik ini)} \\
 M_{maks} &= 7769,39 \times 3,989 - \frac{1947,1}{2} \times 3,989^2 \\
 &= 15500,93 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

- b. Gaya Lintang (D) (Dari arah kanan)

$$\begin{aligned}
 D_{Ckiri} &= Vc \times \cos(\alpha) \\
 &= 7769,39 \times \cos(9,46) \\
 &= 7663,68 \text{ kg} \\
 D_{Bkanan} &= (Vc - q2 \times x) \times \cos(\alpha) \\
 &= (7769,39 - 1947,1 \times 6) \times \cos(9,46)
 \end{aligned}$$

$$= -3859,92 \text{ kg}$$

c. Gaya Normal (N)

$$N_C = V_c \times \sin(\alpha) \text{ kg}$$

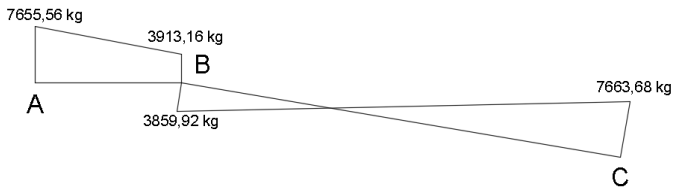
$$= -7769,39 \times \sin(9,46)$$

$$= -1277,28 \text{ kg}$$

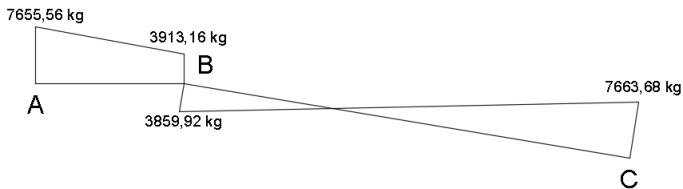
$$N_B = (-V_c + q \times 6) \times \sin(\alpha) \text{ kg}$$

$$= (-7769,39 + 1947,1 \times 6) \times \sin(9,46)$$

$$= 643,32 \text{ kg}$$



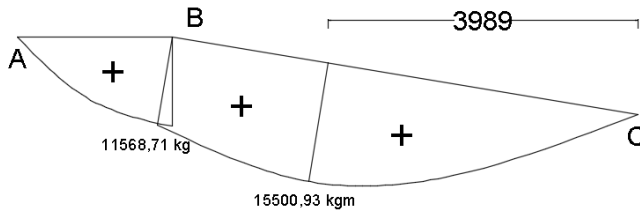
Gambar 4.26 Free body Diagram Gaya – Gaya pada Ramp



Gambar 4.27 Gaya Lintang (D) pada Ramp



Gambar 4.28 Gaya Normal (N) pada Ramp



Gambar 4.29 Gaya Momen (M) pada Ramp

4.2.4.4 Perhitungan Tulangan Pelat Ramp dan Bordes

a. Data - Data Perencanaan

Mutu beton (f'_c) = 30 MPa

Mutu baja (f_y) = 400 MPa

Berat jenis beton = 2400 MPa

Diameter tulangan utama = 22 mm

Diameter tulangan arah y = 22 mm

Tebal pelat ramp = 400 mm

Tebal pelat bordes = 400 mm

Tebal selimut beton = 70 mm

$\beta_1 = 0,83$ SNI 03 – 2847 – 2013 pasal 10.2.7.3

$$\rho_{min} = \frac{1}{4} \times \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} = 0,0034$$

$$\text{Atau} = \frac{1,4}{f_y} = \mathbf{0,0035}$$

$$\phi = 0,9$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = 15,69$$

$$d = 400 - 70 - \frac{22}{2} = 319 \text{ mm}$$

b. Penulangan Pelat Ramp

• Tulangan Utama

$$M_u = 15501 \text{ kgm}$$

$$= 155010000 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 Rn &= \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{155010000}{0,9 \times 1000 \times 319^2} = 1,69 \\
 \rho_{pertu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}} \right) = 0,0044 \\
 \rho &= 0,0044 \\
 A_s &= \rho b d = 0,0044 \times 1000 \times 319 = 1397,83 \text{ mm}^2 \\
 A_{D22} &= 387 \text{ mm}^2 \\
 n &= \frac{A_s}{A_{D22}} = 3,62 \approx 4 \\
 s &= \frac{1000}{n} = 250 \text{ mm} \\
 s_{maks} &= 5d = 5 \times 200 = 1000 \text{ mm} \\
 \text{Atau} &= \mathbf{450 \text{ mm}}
 \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan lentur D22-250 mm

• Penulangan arah melintang pelat

Penulangan arah y dipasang tulangan susut dan suhu dengan : $\rho = 0,002$

Diameter tulangan = 22 mm

$$\begin{aligned}
 f_y &= 400 \text{ MPa} \\
 \rho &= 0,002 \\
 A_{s_{pertu}} &= \rho b d = 0,002 \times 1000 \times 319 = 638 \text{ mm}^2 \\
 A_{D22} &= 387 \text{ mm}^2 \\
 n &= \frac{A_{s_{pertu}}}{A_{D22}} = \frac{638}{387} = 1,65 \approx 2 \\
 s_{pertu} &= \frac{1000}{n} = 500 \text{ mm} \\
 s_{maks} &= 5 \times h = 5 \times 200 = 1000 \text{ mm} \\
 \text{Atau} &= 450 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan D22-450 mm

c. Penulangan Pelat Bordes

• Tulangan Utama

$$\begin{aligned}
 Mu &= 11568,71 \text{ kgm} \\
 &= 115687100 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Rn &= \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{115687100}{0,9 \times 1000 \times 319^2} = 1,26 \\
 \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{f_y}} \right) = 0,0033 \\
 \rho &= 0,0035 \\
 A_s &= \rho b d = 0,0033 \times 1000 \times 319 = 1120 \text{ mm}^2 \\
 A_{D22} &= 387 \text{ mm}^2 \\
 n &= \frac{A_s}{A_{D22}} = 2,9 \approx 3 \\
 s &= \frac{1000}{n} = 333,33 \text{ mm} \\
 s_{maks} &= 5d = 5 \times 200 = 1000 \text{ mm} \\
 \text{Atau} &= 450 \\
 \text{Maka digunakan tulangan D22-300 mm}
 \end{aligned}$$

• **Penulangan arah melintang pelat**

Penulangan arah y dipasang tulangan susut dan suhu dengan : $\rho = 0,002$

Diameter tulangan = 22 mm

$$\begin{aligned}
 f_y &= 400 \text{ MPa} \\
 \rho &= 0,002 \\
 A_{s_{perlu}} &= \rho b d = 0,002 \times 100 \times 319 = 387 \text{ mm}^2 \\
 A_{D22} &= 387 \text{ mm}^2 \\
 n &= \frac{A_{s_{perlu}}}{A_{D22}} = \frac{640}{387} = 1,66 \approx 2 \\
 s &= \frac{1000}{n} = 500 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan D22-450 mm

d. Penulangan Balok Bordes

• **Perencanaan dimensi balok bordes**

$$\begin{aligned}
 h &= \frac{1}{16} L = \frac{400}{16} = 25 \text{ cm} \approx 50 \text{ cm} \\
 b &= \frac{2}{3} h = 33,33 \text{ cm} \approx 35 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Maka digunakan dimensi balok bordes 35/50

$$H = 4 \text{ m}$$

$$\text{Berat dinding} = 250 \text{ kg/m}^2$$

• Pembebanan balok bordes

Beban mati

$$\text{Berat sendiri balok} = 0,35 \times 0,5 \times 2400 = 420 \text{ kg/m}$$

$$\begin{array}{rcl} \text{Berat dinding} & = 3 \times 250 & = 750 \text{ kg/m} + \\ & \text{qd} & = 1170 \text{ kg/m} \end{array}$$

$$q_u = 1,2 q_d = 1,2 \times 1170 = 1404 \text{ kg/m}$$

$$\begin{array}{rcl} \text{Beban pelat bordes} & = 7769,39 & = 7769,39 \text{ kg/m} + \\ & \text{qu total} & = 9173,39 \text{ kg/m} \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} \text{Momen tumpuan} & = \frac{1}{16} \times q_u \times l^2 & = 9173,39 \text{ kgm} \\ & & = 91733900 \text{ Nmm} \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} \text{Momen lapangan} & = \frac{1}{11} \times q_u \times l^2 & = 13343,12 \text{ kgm} \\ & & = 133431200 \text{ Nmm} \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} V_u \text{ total} & = 0,5 \times q_u \times l & = 18346,78 \text{ kg} \\ & & = 183467,8 \text{ N} \end{array}$$

• Penulangan lentur balok bordes

$$\text{Diameter sengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan utama} = 19 \text{ mm (deformed)}$$

$$\text{Selimut beton} = 40 \text{ mm}$$

$$d = 500 - 40 - 10 - \frac{19}{2} = 440,5 \text{ mm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\phi = 0,9$$

○ Penulangan Tumpuan

$$M_u = 91733900 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{91733900}{0,9 \times 350 \times 440,5^2} = 1,51$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}} \right) = 0,0039$$

$$\rho_{min} = 0,0039$$

$$As_{perlu} = \rho_{min} \times b \times d = 596,6 \text{ mm}^2$$

$$A_{D19} = 284 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As_{perlu}}{A_{D19}} = \frac{612,3}{284} = 2,11 \approx 3$$

Maka digunakan tulangan lentur tumpuan atas 3D19

$$As'_{perlu} = 0,5As_{pasang} = 426 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As_{perlu}}{A_{D19}} = \frac{426}{284} = 1,5 \approx 2$$

Maka digunakan tulangan lentur tumpuan bawah 2D19

○ Penulangan Lapangan

$$Mu = 133431200 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{133431200}{0,9 \times 350 \times 440,5^2} = 2,11$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}} \right) = 0,0058$$

$$\rho_{min} = 0,0058$$

$$As_{perlu} = \rho_{min} \times b \times d = 880,89 \text{ mm}^2$$

$$A_{D19} = 284 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As_{perlu}}{A_{D19}} = \frac{904,5}{284} = 3,11 \approx 4$$

Maka digunakan tulangan lentur lapangan bawah 4D19

$$As'_{perlu} = 0,5As_{pasang} = 568 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As_{perlu}}{A_{D16}} = \frac{568}{284} = 2$$

Maka digunakan tulangan lentur lapangan atas 2D19

● Penulangan Tulangan Geser Balok Bordes

$$Vu_{total} = 183467,8 \text{ N}$$

$$Vc = \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \times bw \times d = \frac{1}{6} \sqrt{30} \times 350 \times 440,5 = 140741,88 \text{ N}$$

$$\phi Vc = 0,75 \times 140741,88 = 105556,41 \text{ N}$$

$$0,5\phi Vc = 0,5 \times 105556,41 = 52778,3 \text{ N}$$

Karena $\phi Vc \leq Vu$, maka dibutuhkan tulangan geser.

$$Av = 2 \times A_{\phi 10} = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 = 157,0 \text{ mm}^2$$

$$Vn = Vu$$

$$\phi(Vs + Vc) = Vu$$

$$\begin{aligned} Vs &= \frac{Vu}{\phi} - Vc \\ &= \frac{183467,8}{0,75} - 140741,88 \\ &= 103881,9 \text{ N} \end{aligned}$$

$$s = \frac{Av \times d \times fyt}{Vs} = \frac{157 \times 440,5 \times 240}{103881,9} = 159,9 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} smaks &= \frac{d}{2} = \frac{440,5}{2} = 220,25 \text{ mm} \\ &\text{atau} \\ &= 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan geser $\phi 10$ -150 mm

4.2.5 Perencanaan Balok Lift

4.2.5.1 Data Perencanaan

Perencanaan balok lift meliputi balok penumpu dan balok penggantung. Pada bangunan ini digunakan lift khusus rumah sakit yang diproduksi oleh Hyundai Elevator dengan data-data spesifikasi sebagai berikut :

Tipe Lift	: Standard Type
Model	: B1750-2S30-60
Kapasitas	: 1750 kg
Kecepatan	: 60 m/minute
Motor	: 15 KW
Lebar pintu (<i>opening width</i>)	: 1200 mm
Dimensi sangkar (<i>car size</i>)	:
- <i>Car wide</i> (CW)	: 1600 mm
- <i>Car depth</i> (CD)	: 2300 mm
Dimensi ruang luncur (<i>hoistway size</i>)	:
- <i>Hoistway width</i> (HW)	: 2400 mm
- <i>Hoistway depth</i> (HD)	: 2850 mm

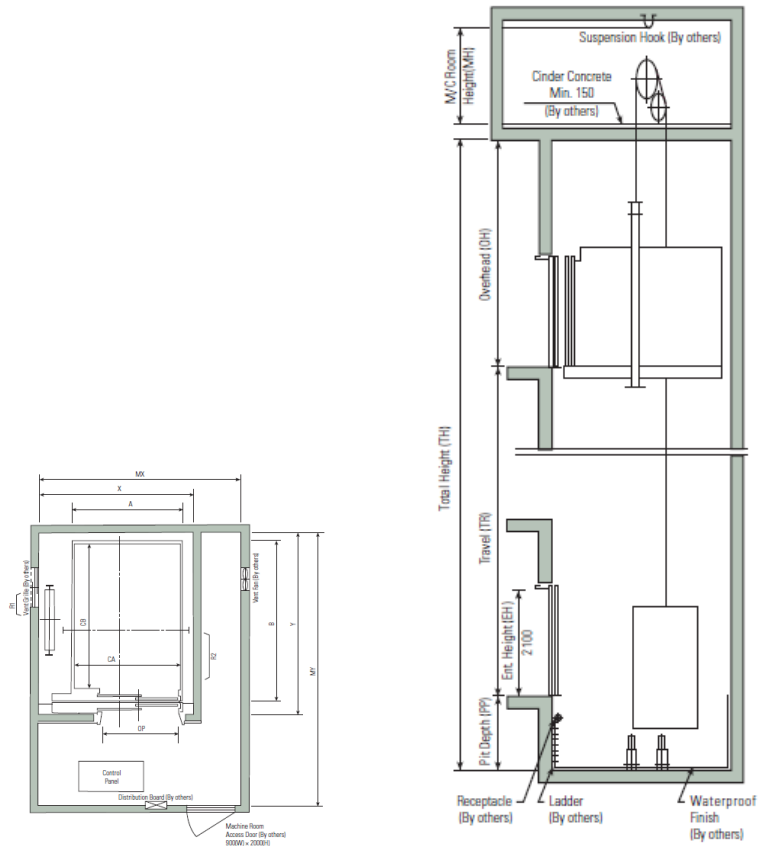
Beban reaksi ruang mesin

- R_1 : 11500 kg
- R_2 : 9500 kg

Untuk lebih jelasnya mengenai spesifikasi lift berikut disajikan dalam tabel :

Tabel 4.6 Spesifikasi Lift

Type	Model	Clear Opening	Car		Hoistway	M/C Room	M/C Room Reaction (kg)	
			Internal	External			R1	R2
		OP	CA × CB	A × B	X × Y	MX × MY		
Standard Type	B1350-2S30, 45	1100	1300 × 2300	1400 × 2507	2100 × 2850	2300 × 3500	10500	8500
	B1350-2S60							
	B1600-2S30, 45	1200	1500 × 2300	1600 × 2507	2300 × 2850	2750 × 4000	11500	9500
	B1600-2S60							
	B1750-2S30-60	1200	1600 × 2300	1700 × 2507	2400 × 2850	2850 × 4000		
Double Entrance Type	B1350-2S30, 45	1100	1300 × 2300	1400 × 2634	2300 × 3000	2300 × 3500	10500	8500
	B1350-2S60							
	B1600-2S30, 45	1200	1500 × 2300	1600 × 2634	2500 × 3000	2750 × 4000	11500	9500
	B1600-2S60							
	B1750-2S30-60	1200	1600 X 2300	1700 X 2634	2600 X 3000	2850 X 4000		



Gambar 4.30 Ruang Lift

4.2.5.2 Perencanaan Dimensi Balok Lift

• Balok Penumpu

Panjang balok penumpu = 4000 mm

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times 4000 = 250 \text{ mm}$$

$$h_{\text{pakai}} = 500 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

Dirancang dimensi balok 30/50

- **Balok Penggantung Lift**

Panjang balok penggantung lift = 3000 mm

$h_{\min} = 1/16 \times 3000 = 187,5 \text{ mm}$

$h_{\text{pakai}} = 500 \text{ mm}$

$b = 300 \text{ mm}$

Dirancang dimensi balok 30/50

4.2.5.3 Pembebanan Lift

1. Beban yang bekerja pada balok penumpang

Beban yang bekerja pada balok penumpang adalah beban mati (pelat, aspal, ducting, dll) dan beban hidup

2. Koefisien kejut beban hidup keran

Pasal 3.3(3) PPIUG 1983 menyatakan bahwa beban keran yang membebani struktur pemikulnya terdiri dari berat sendiri ditambah muatan yang diangkat. Sebagai beban rencana harus diambil beban keran tersebut dengan mengalikannya dengan suatu koefisien kejut yang ditentukan dengan rumus berikut :

$$\Psi = (1 + k_1 k_2 v) \geq 1,15$$

Dimana :

Ψ = koefisien kejut yang nilainya idak boleh diambil kurang dari 1,15

V = kecepatan angkat maksimum dalam m/det pada pengangkatan muatan maksimum dalam kedudukan keran induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau, dan nilainya tidak perlu diambil lebih dari 1,00 m/s

K_1 = koefisien yang bergantung pada kekakuan struktur keran induk, yang untuk keran induk dengan struktur rangka, pada umumnya nilainya dapat diambil sebesar 0,6

K_2 = koefisien yang bergantung pada sifat mesin angkat dari keran angkatnya, dan diambil sebesar 1,3

Jadi, beban yang bekerja pada balok adalah :

$$P = \Sigma R \times \psi = (11500 + 9500) \times (1 + 0,6 \times 1,3 \times 1) \\ = 37380 \text{ kg}$$

4.2.5.4 Balok Penggantung Lift 30/50

a. Pembebanan

Beban mati lantai:

$$\begin{array}{lll} \text{Berat pelat} & = 0,15 \times 2400 & = 360 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Aspal}(t=2\text{cm}) & = 2 \times 14 & = 28 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Ducting+Plumbing} & & = 30 \text{ kg/m}^2 + \\ & & = 418 \text{ kg/m}^2 \end{array}$$

$$\begin{array}{lll} q & = 418 \times 4 & = 1672 \text{ kg/m} \\ \text{Akibat balok} & = 0,3 \times 0,5 \times 2400 & = 360 \text{ kg/m} + \\ & qd & = 2032 \text{ kg/m} \end{array}$$

Beban hidup:

$$ql = 100 \text{ kg/m}$$

Beban berfaktor

$$\begin{array}{l} qu = 1,2qd + 1,6ql \\ = 1,2(2032) + 1,6(100) \\ = 2598,4 \text{ kg/m} \end{array}$$

Beban terpusat lift $P = 37830 \text{ kg}$

$$\begin{array}{l} Vu = \frac{1}{2} \times qu \times 3 + \frac{1}{2} \times p \\ = \frac{1}{2} \times 2598,4 \times 3 + \frac{1}{2} \times 37380 \\ = 22587,6 \text{ kg} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} Mu = \frac{1}{8} \times qu \times L^2 + \frac{1}{4} pL \\ = \frac{1}{8} \times 2598,4 \times 3^2 + \frac{1}{4} \times 37380 \times 3 \\ = 30958,2 \text{ kgm} \end{array}$$

Data Perencanaan :

$$\begin{array}{ll} f'_c & = 30 \text{ MPa} \\ f_y & = 400 \text{ MPa} \\ \text{Tulangan utama} & = D22 \text{ mm} \end{array}$$

$$\begin{aligned}
\text{Tulangan sengkang} &= \varphi 13 \text{ mm} \\
b &= 300 \text{ mm} \\
h &= 500 \text{ mm} \\
d &= 500 - 40 - 13 - \frac{1}{2}22 = 436 \text{ mm} \\
\beta_1 &= 0,85 - \frac{0,05(30-28)}{7} = 0,836 \\
\rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \\
\text{atau} &= \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} = \frac{0,25\sqrt{30}}{400} = 0,0034 \\
m &= \frac{f_y}{0,85f'_c} = \frac{400}{0,85} \times 30 = 15,69
\end{aligned}$$

b. Perhitungan Tulangan Lentur

$$\begin{aligned}
M_u &= 30958,2 \text{ kgm} \\
&= 309582000 \text{ Nmm} \\
\phi &= 0,9 \\
M_n &= \frac{M_u}{\phi} = \frac{309582000}{0,9} = 343980000 \text{ Nmm} \\
R_n &= \frac{M_n}{bd^2} = \frac{343980000}{300 \times 439^2} = 6,032 \\
\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) = 0,0175 \\
A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d = 2285,61 \text{ mm}^2 \\
A_{D22} &= 387 \text{ mm}^2 \\
n &= \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_{D22}} = \frac{2285,61}{387} = 5,91 \approx 6
\end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan lentur 6D22 (2322 mm²)

c. Perhitungan Tulangan Geser

$$\begin{aligned}
V_u &= 22587,6 \text{ kg} &= 225876 \text{ N} \\
\phi &= 0,75 \\
V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b d = \frac{1}{6} \sqrt{30} \times 300 \times 436 = 119403,5 \text{ N} \\
\phi V_c &= 0,75 \times 120225,1 &= 90168,8 \text{ N}
\end{aligned}$$

Karena $\phi V_c \leq V_u = 211505,76 \text{ N}$ maka dibutuhkan tulangan geser

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{225876}{0,75} = 301168 \text{ N}$$

$$V_{S_{butuh}} = V_n - V_c = 301168 - 119403,5 = 181764,5 \text{ N}$$

$$\text{Syarat } S_{\max} = \frac{d}{2} = \frac{436}{2} = 218 \text{ mm}$$

$$\text{Atau} = 600 \text{ mm}$$

$$\text{Pakai } s = 150 \text{ mm}$$

$$A_v = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi d^2 = \frac{1}{2} \pi 13^2 = 265,4 \text{ mm}^2$$

$$V_s = A_v \times f_y \times \frac{d}{s} = 265,4 \times 240 \times \frac{436}{150} = 185188 \text{ N} \geq$$

$$V_{S_{butuh}} = 181764,5 \text{ N}$$

Maka digunakan tulangan geser $\phi 10$ -150 mm

4.2.5.5 Balok Penumpu 30/50

a. Pembebanan

Beban mati lantai :

$$\text{Berat pelat} = 0,15 \times 2400 = 360 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Aspal}(t=2\text{cm}) = 2 \times 14 = 28 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Ducting+Plumbing} = 30 \text{ kg/m}^2 +$$

$$= 418 \text{ kg/m}^2$$

$$q = 418 \times 3 = 1254 \text{ kg/m}$$

$$\text{Akibat balok} = 0,3 \times 0,5 \times 2400 = 360 \text{ kg/m} +$$

$$qd = 1614 \text{ kg/m}$$

Beban hidup :

$$ql = 100 \text{ kg/m}$$

Beban berfaktor

$$q_u = 1,2qd + 1,6Ql$$

$$= 1,2(1614) + 1,6(100)$$

$$= 2096,8 \text{ kg/m}$$

$$\text{Beban terpusat lift } P = 11500 \times (1 + 0,6 \times 1,3 \times 1)$$

$$= 20470 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 V_u &= \frac{1}{2} \times qu \times L + \frac{1}{2} \times p \\
 &= \frac{1}{2} \times 2096,8 \times 4 + \frac{1}{2} \times 20470 \\
 &= 14428,6 \text{ kg} \\
 M_u &= \frac{1}{8} \times qu \times L^2 + \frac{1}{4} pL \\
 &= \frac{1}{8} \times 2096,8 \times 4^2 + \frac{1}{4} \times 20470 \times 4 \\
 &= 20471,05 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Data Perencanaan :

$$\begin{aligned}
 f'_c &= 30 \text{ MPa} \\
 f_y &= 400 \text{ MPa} \\
 \text{Tulangan utama} &= D22 \text{ mm} \\
 \text{Tulangan sengkang} &= \varnothing 13 \text{ mm} \\
 b &= 300 \text{ mm} \\
 h &= 500 \text{ mm} \\
 d &= 500 - 40 - 13 - \frac{1}{2} 22 = 436 \text{ mm} \\
 \beta_1 &= 0,85 - \frac{0,05(30-28)}{7} = 0,836 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \\
 \text{atau} &= \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} = \frac{0,25\sqrt{30}}{400} = 0,0034 \\
 m &= \frac{f_y}{0,85f'_c} = \frac{400}{0,85} \times 30 = 15,69
 \end{aligned}$$

b. Perhitungan Tulangan Lentur

$$\begin{aligned}
 M_u &= 20471,05 \text{ kgm} \\
 &= 204710500 \text{ Nmm} \\
 \phi &= 0,9 \\
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} = \frac{204710500}{0,9} = 227456093,3 \text{ Nmm} \\
 R_n &= \frac{M_n}{bd^2} = \frac{227456093,3}{300} \times 436^2 = 3,99 \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) = 0,011
 \end{aligned}$$

$$A_{S_{perlu}} = \rho_{perlu} \times b \times d = 1426,2 \text{ mm}^2$$

$$A_{D22} = 387 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{S_{perlu}}}{A_{D22}} = \frac{1426,2}{387} = 3,7 \approx 4$$

Maka digunakan tulangan lentur 4D22 (1548 mm²)

c. Perhitungan Tulangan Geser

$$V_u = 14428,6 \text{ kg} = 144286 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_{cbd}} = \frac{1}{6} \sqrt{30} \times 300 \times 436 = 119403,5 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 119403,5 = 89552,6 \text{ N}$$

Karena $\phi V_c \leq V_u = 144286 \text{ N}$ maka dibutuhkan tulangan geser

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{144286}{0,75} = 192381,33 \text{ N}$$

$$V_{S_{butuh}} = V_n - V_c = 192381,33 - 119403,5 = 72977,82 \text{ N}$$

$$\text{Syarat } S_{\max} = \frac{d}{2} = \frac{436}{2} = 218 \text{ mm}$$

$$\text{Atau} = 600 \text{ mm}$$

$$\text{Pakai } s = 150 \text{ mm}$$

$$A_v = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi d^2 = \frac{1}{2} \pi 13^2 = 265,4 \text{ mm}^2$$

$$V_s = A_v \times f_y \times \frac{d}{s} = 265,4 \times 240 \times \frac{436}{150} = 185188,09 \geq$$

$$V_{S_{butuh}} = 160554,31 \text{ N}$$

Maka digunakan tulangan geser $\phi 13$ -150 mm

4.3 Permodelan Struktur

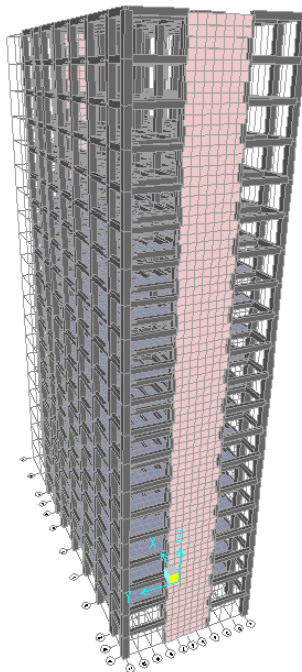
4.3.1 Umum

Dalam perencanaan gedung bertingkat perlu dilakukan adanya perencanaan pembebanan gravitasi maupun pembebanan gempa. Hal ini bertujuan agar struktur gedung tersebut mampu untuk memikul beban – beban yang terjadi. Pembebanan gravitasi mengacu pada ketentuan PPIUG 1983 dan pembebanan gempa mengacu pada SNI 1726:2012 yang di dalamnya terdapat ketentuan dan persyaratan perhitungan beban gempa.

4.3.2 Data – Data Perencanaan

Data – data perencanaan gedung RSUD Koja Jakarta adalah sebagai berikut:

Mutu beton (f'_c)	: 30 MPa	
Mutu baja tulangan (f_y)	: 400 MPa	
Fungsi bangunan	: Rumah sakit	
Tinggi bangunan	: 80 m	
Jumlah tingkat	: 20 lantai dan 1 basement	
Tinggi tiap tingkat	: Lantai basement	= 4 m
	: Lantai 1-20	= 4 m
Dimensi balok induk	: 50/70	
Dimensi balok anak	: 30/50	



Gambar 4.31 Permodelan 3D Struktur Utama

4.3.3 Perhitungan Berat Struktur

Pembebanan gravitasi struktur pada sistem ganda diterima oleh rangka dan dinding geser. Pembebanan ini termasuk beban mati dan beban hidup yang terjadi pada struktur.

• Pembebanan gravitasi pada lantai 1-19

Beban Mati:

Plafond		= 11	kg/m ²
Penggantung		= 7	kg/m ²
Spesi (2 cm)	= 2 × 21	= 42	kg/m ²
Penutup lantai (2 cm)	= 2 × 24	= 48	kg/m ²
Plumbing		<u>= 10</u>	<u>kg/m²+</u>
		= 118	kg/m ²

Beban Hidup:

Pada perencanaan balok induk dan portal beban hidup boleh direduksi (PPIUG 1983)

Faktor reduksi rumah sakit	= 0,75
Beban hidup lantai	= 0,75 × 250 = 187,5kg/m ²

• Pembebanan gravitasi pada lantai 20 (atap)

Beban Mati:

Plafond		= 11	kg/m ²
Penggantung		= 7	kg/m ²
Spesi (2 cm)	= 2 × 21	= 42	kg/m ²
Penutup lantai (2 cm)	= 2 × 24	= 48	kg/m ²
Aspal		= 14	kg/m ²
Plumbing		<u>= 10</u>	<u>kg/m²+</u>
		= 132	kg/m ²

Beban Hidup:

Beban hidup lantai	= 0,75 × 100 = 75	kg/m ²
--------------------	-------------------	-------------------

Perhitungan nilai total berat bangunan ini akan digunakan untuk menentukan gaya geser statik. Nilai tersebut digunakan

untuk mengontrol apakah gaya geser dinamik yang didapat dari SAP2000 sudah mencapai 85% dari gaya geser statik.

Pada tugas akhir ini gaya perhitungan berat struktur diambil dari hasil analisis SAP2000 dengan kombinasi D + L

4.3.4 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan diperlukan dalam sebuah perencanaan struktur bangunan. Pada saat konstruksi, tentunya beban – beban yang bekerja pada struktur hanya beban – beban mati saja dan beban hidup sementara akibat pekerja konstruksi. Sedangkan pada masa layan, beban – beban hidup permanen dari aktivitas pemakai gedung dan barang – barang yang dapat bergerak di dalam gedung. Hal ini tentunya akan berdampak pada kekuatan rencana elemen struktur yang direncanakan berdasarkan kombinasi pembebanan terbesar akibat penjumlahan beban – beban yang bekerja dengan faktor beban *Load Resistance Factor Design (LRFD)*

Kombinasi pembebanan yang dipakai pada struktur gedung ini mengacu pada SNI 1726:2012 bangunan tahan gempa sebagai berikut:

- 1,4 DL
- 1,2 DL + 1,6 LL
- 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 Ex
- 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 Ey
- 1,0 DL + 1,0 LL
- 0,9 DL + 1,0 Ex
- 0,9 DL + 1,0 Ey

Keterangan:

DL : beban mati

LL : beban hidup

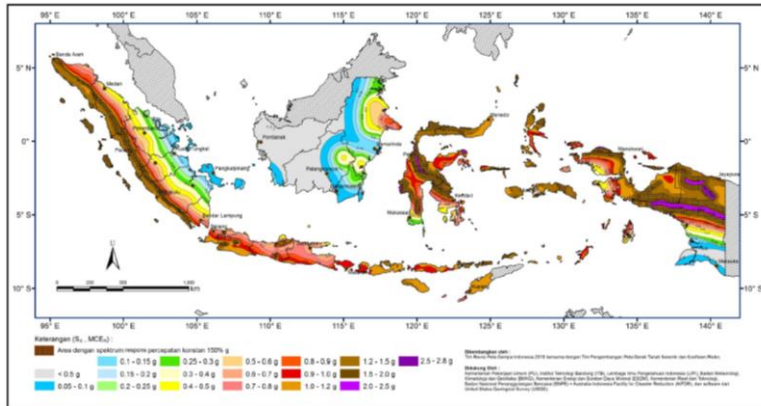
Ex : beban gempa arah x

Ey : beban gempa arah y

4.3.5 Analisa Beban Gempa

4.3.5.1 Percepatan Respon Spektrum

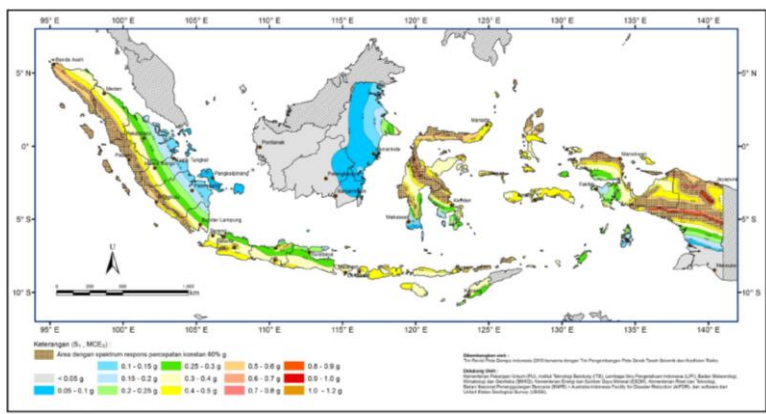
Penentuan wilayah gempa dapat dilihat pada Gambar 4.32 dan Gambar 4.33



Gambar 4.32 Peta Harga Ss di Indonesia

(Sumber: SNI 1726:2012)

Untuk daerah Jakarta didapatkan nilai $S_s = 0,686g$



Gambar 4.33 Peta Harga S1 di Indonesia
(Sumber: SNI 1726:2012)

Untuk daerah Jakarta didapatkan nilai $S_1 = 0,3 \text{ g}$

Untuk nilai F_a (koefisien situs untuk periode 0,2 detik) dan F_v (koefisien situs untuk periode 1 detik) didapat dari Tabel 4.7 dan Tabel 4.8

Tabel 4.7 Koefisien Situs F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS^b				

Tabel 4.8 Koefisien Situs Fv

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE _R) terpetakan pada periode 1 detik, S ₁				
	S ₁ ≤0,1	S ₁ =0,2	S ₁ =0,3	S ₁ =0,4	S ₁ ≥0,5
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

Dari data di atas diperoleh data – data sebagai berikut

$$S_s = 0,686g$$

$$S_1 = 0,3g$$

$$F_a = 1,0$$

$$F_v = 1,0$$

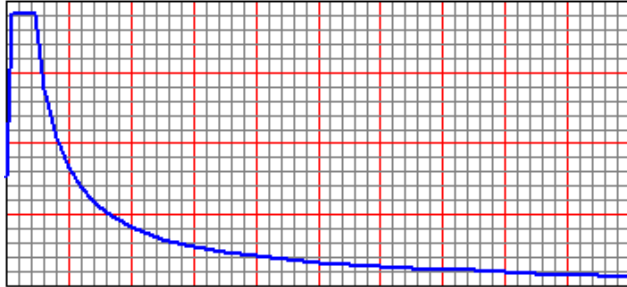
$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a \times S_s \\ &= 1 \times 0,686 \\ &= 0,686 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{M1} &= F_v \times S_1 \\ &= 1,0 \times 0,3 \\ &= 0,3 \end{aligned}$$

4.3.5.2 Parameter Percepatan Respons Spektral

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0,686 = 0,4573$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,3 = 0,2$$



Gambar 4.34 Grafik Respon Spektrum Daerah

Gedung ini berfungsi sebagai rumah sakit sehingga termasuk kategori risiko IV. Dari data – data yang telah didapat di atas bisa ditentukan kategori desain seismik dari gedung ini menggunakan Tabel 4.9 dan Tabel 4.10. Sehingga didapat gedung ini termasuk kategori desain seismik D

Tabel 4.9 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda 1 Detik

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,5$	C	D
$0,5 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 4.10 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sistem yang dipilih harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian. Berdasarkan tabel 9 SNI 1726:2012 didapatkan salah satu sistem struktur yang tepat sesuai dengan kategori desain seismik D adalah sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya gempa yang ditetapkan dengan dinding geser beton bertulang khusus yang mampu menahan 75% gaya gempa yang ditetapkan.

4.3.6 Pembebanan Gempa Dinamis

Perhitungan beban gempa pada struktur Gedung RSUD Koja Jakarta ditinjau dengan pengaruh gempa dinamik sesuai SNI 1726:2012. Analisis dilakukan menggunakan respons spektrum dengan parameter – parameter yang telah ditentukan

4.3.6.1 Arah Pembebanan

Beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan terjadi dalam arah sembarang (tidak terduga) baik dalam arah x dan y secara bolak – balik dan periodik. Untuk menyimulasikan arah pengaruh gempa rencana yang sembarang terhadap gedung, pengaruh pembebanan gempa rencana dalam arah utama harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan

dengan pengaruh pembebanan gempa yang arahnya tegak lurus dengan arah utama dengan efektivitas 30%.

- Gempa Respons Spektrum X:
100% arah X dan 30% arah Y
- Gempa Respons Spektrum Y:
100% arah Y dan 30% arah X

4.3.6.2 Faktor Reduksi Gempa (R)

Gedung ini direncanakan menggunakan beton pracetak dengan sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus mampu menahan paling sedikit 25% gaya gempa yang ditetapkan. Berdasarkan tabel 9 SNI 1726:2012 didapatkan nilai faktor pembesaran defleksi (C_d) = 5,5; nilai koefisien modifikasi respons (R) = 7; dan nilai faktor kuat lebih sistem (Ω) = 2,5

4.3.6.3 Faktor Keutamaan (I)

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e . Gedung ini direncanakan sebagai bangunan rumah sakit. Pada Tabel 4.11 berdasarkan SNI 1726:2012 bangunan ini termasuk kategori IV sehingga didapat nilai $I_e = 1,5$

Tabel 4.11 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

4.3.7 Kontrol Desain

Setelah dilakukan pemodelan struktur 3 dimensi dengan program bantu SAP2000, hasil analisis struktur harus dikontrol

terhadap suatu batasan – batasan tertentu sesuai dengan peraturan SNI 1726:2012 untuk menentukan kelayakan sistem struktur tersebut. Adapun hal – hal yang harus dikontrol adalah sebagai berikut:

- Kontrol beban gravitasi
- Kontrol periode getar struktur
- Kontrol respons seismik
- Kontrol partisipasi massa
- Kontrol batas simpangan (*drift*)
- Kontrol sistem ganda

Dari analisis tersebut juga diambil gaya dalam yang terjadi pada masing – masing elemen struktur untuk dilakukan pengecekan kapasitas penampang.

4.3.7.1 Beban Gravitasi

Beban gravitasi dikontrol untuk mengecek kesesuaian pemodelan pada program bantu SAP2000 dengan desain bangunan gedung. Perhitungan beban mati masing – masing elemen struktur pada gedung ditunjukkan pada Tabel 4.12 berikut:

Tabel 4.12 Perhitungan Beban Mati

Lantai 20 (Atap)							
Jenis	Berat Volume		Dimensi		Luas (m ²)	Keliling (m)	Berat (kg)
			h (m)	b (m)			
Pelat	2400	kg/m ³	0,15		586		210960
Plafond	11	kg/m ²			586		6446
Penggantung	7	kg/m ²			586		4102
Plumbing	10	kg/m ²			586		5860
Spesi (2cm)	42	kg/m ²			586		24612
Aspal	14	kg/m ²			586		8204
Penutup Lantai :	48	kg/m ²			586		28128
Balok induk x	2400	kg/m ³	0,7	0,5		148	124320
Balok induk y	2400	kg/m ³	0,7	0,5		132	110880
Balok anak x	2400	kg/m ³	0,5	0,3		208	74880
Berat Total							598392

Lantai 11-19							
Jenis	Berat Volume		Dimensi		Luas (m ²)	Keliling (m)	Berat (kg)
			h (m)	b (m)			
Pelat	2400	kg/m ³		0.15	586		210960
Plafond	11	kg/m ²			586		6446
Penggantung	7	kg/m ²			586		4102
Plumbing	10	kg/m ²			586		5860
Spesi (2cm)	42	kg/m ²			586		24612
Penutup Lantai	48	kg/m ²			586		28128
Dinding	250	kg/m ²	4			218	272500

Lantai Basement						
Jenis	Berat Volume		Dimensi		Keliling (m)	Berat (kg)
			h (m)	b (m)		
Kolom 90x90	2400	kg/m ³	0,9	0,9	112	217728
Kolom 40x40	2400	kg/m ³	0,4	0,4	48	18432
Dinding Geser	2400	kg/m ³	0,4	4	35	134400
Berat Total						370560

Atap	Jumlah Lantai	Berat per Lantai (kg)	Berat (kg)
	1	598392	598392
Lantai 11-19	9	1251392	11262528
Lantai 1-10	10	1233248	12332480
Lantai Basement	1	370560	370560
DL			24563960

Sedangkan untuk perhitungan beban hidup ditunjukkan pada Tabel 4.13 berikut:

Tabel 4.13 Perhitungan Beban Hidup

	Beban Area (kg/m ²)	Luas (m ²)	Jumlah Lantai	Berat (kg)
Lantai (20) Atap	100	586	1	58600
Lantai 1-19	250	586	19	2783500
LL				2842100
0,8 LL				2273680

$$DL + LL = 24563960 + 2273680 = 26837640 \text{ kg}$$

Beban yang terhitung pada pemodelan dalam SAP2000 yaitu sebagai berikut:

$$DL + LL \text{ (SAP2000)} = 25461304 \text{ kg}$$

Selisih 5,128% dengan perhitungan manual. Dengan demikian pemodelan struktur dianggap sesuai.

4.3.7.2 Periode Waktu Getar Alami Fundamental (T)

Periode fundamental pendekatan (T_a):

$$T_a = C_t \cdot h_n^x$$

Koefisien C_t dan x ditentukan dari Tabel 4.14 dan Tabel 4.15 berdasarkan SNI 1726:2012

Tabel 4.14 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka pemikul 100 persen gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

Tabel 4.15 Koefisien untuk Batas Atas

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{DI}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
\leq	1,7

$$T_a = 0,0488 \times (80)^{0,75} = 1,305 \text{ s}$$

Dengan $S_{DI} = 0,2$ maka didapatkan koefisien $C_u = 1,5$

$$C_u \times T_a = 1,5 \times 1,305 = 1,95 \text{ s}$$

Tabel 4.16 Modal Periode dan Frekuensi Struktur

OutputCase	StepType	StepNum	Period
Text	Text	Unitless	Sec
MODAL	Mode	1	0.830555
MODAL	Mode	2	0.721127
MODAL	Mode	3	0.572001
MODAL	Mode	4	0.262228
MODAL	Mode	5	0.207001
MODAL	Mode	6	0.169407
MODAL	Mode	7	0.155836
MODAL	Mode	8	0.149706
MODAL	Mode	9	0.143095
MODAL	Mode	10	0.136877
MODAL	Mode	11	0.12109
MODAL	Mode	12	0.113601
MODAL	Mode	13	0.103341
MODAL	Mode	14	0.098083
MODAL	Mode	15	0.096708
MODAL	Mode	16	0.087234
MODAL	Mode	17	0.086024
MODAL	Mode	18	0.08468
MODAL	Mode	19	0.084263
MODAL	Mode	20	0.07354

Dari Tabel 4.16, T terbesar yang didapat dari analisis SAP2000:

$$0,831 < Cu \times Ta$$

$$0,831 < 1,95 \text{ s (OK)}$$

4.3.7.3 Koefisien Respons Seismik (Cs)

Koefisien respons seismik Cs harus ditentukan sesuai dengan SNI 1726:2012 pasal 7.8.1

$$Cs = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}}$$

Dengan:

S_{DS} = percepatan spektrum respons desain dalam rentan periode pendek

R = faktor modifikasi respons

I_e = faktor keutamaan gempa

$$S_{DS} = 0,4573$$

$$R = 7$$

$$I_e = 1,5$$

$$Cs = \frac{0,4573}{\frac{7}{1,5}} = 0,098$$

Dan nilai Cs tidak perlu melebihi:

$$Cs = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_3}\right)} = \frac{0,2}{0,831\left(\frac{7}{1,5}\right)} = 0,052$$

Dan nilai Cs harus tidak kurang dari:

$$Cs = 0,044 \times S_{DS} \times I_e = 0,044 \times 0,4573 \times 1,5 = 0,0302$$

Maka nilai Cs diambil 0,052

Perhitungan gaya geser (*base shear*) menggunakan SNI 1726:2012 dengan persamaan berikut:

$$V = Cs \times W$$

Di mana:

Cs = koefisien respons seismik

W = berat seismik efektif

$$V_{statik} = 0,052 \times 26837640 = 1384838,5 \text{ kg}$$

Dari hasil analisis menggunakan program SAP2000 didapatkan nilai gaya geser dasar sebagai berikut:

Tabel 4.17 Gaya Geser Dasar Akibat Beban Gempa

	F_x (kg)	F_y (kg)
Gempa X	1178970,7	2856609,74
Gempa Y	435063,6	1169419,07

Kontrol:

- Arah X

$$V_{dinamik} \geq 0,85 \times V_{statik}$$

$$1178970,7 \geq 0,85 \times 1384838,5$$

$$1178970,7 \geq 1177112,8 \text{ (OK)}$$

- Arah Y

$$V_{dinamik} \geq 0,85 \times V_{statik}$$

$$1169419,07 \geq 0,85 \times 1384838,5$$

$$1169419,07 \geq 1177112,8 \text{ (TIDAK OK)}$$

Dari kontrol di atas, analisis struktur masih belum memenuhi syarat nilai akhir respons. Maka harus diperbesar dengan faktor skala:

- Arah Y

$$0,85 C_s \times \frac{W}{V} = 0,85 \times \frac{1177112,8}{1384838,5} = 1,007$$

Setelah dikali faktor skala di atas didapatkan gaya geser dasar pada Tabel 4.18 sebagai berikut:

Tabel 4.18 Gaya Geser Dasar Akibat Beban Gempa setelah Dikalikan dengan Faktor Skala

	F_x (kg)	F_y (kg)
Gempa X	1178970,7	285660,974
Gempa Y	438142,14	1177398,427

Kontrol:

- Arah X

$$\begin{aligned} V_{\text{dinamik}} &\geq 0,85 \times V_{\text{statik}} \\ 1178970,7 &\geq 0,85 \times 1384838,5 \\ 1178970,7 &\geq 1177112,8 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

- Arah Y

$$\begin{aligned} V_{\text{dinamik}} &\geq 0,85 \times V_{\text{statik}} \\ 1177398,427 &\geq 0,85 \times 1384838,5 \\ 1177398,427 &\geq 1177112,8 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Dari kontrol di atas dapat disimpulkan bahwa analisis struktur bangunan ini masih memenuhi persyaratan SNI 1726:2012 pasal 7.8

4.3.7.4 Kontrol Partisipasi Massa

Menurut SNI 1726 2012 pasal 7.9.1, bahwa perhitungan respon dinamik struktur harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90% dari massa aktual dari masing-masing arah

Dalam hal ini digunakan bantuan program SAP2000 untuk mengeluarkan hasil partisipasi massa seperti pada Tabel 4.19. Dari Tabel 4.19 didapat partisipasi massa arah X sebesar 92% pada moda ke 14 dan partisipasi massa arah Y sebesar 90% pada moda ke 12. Maka dapat disimpulkan analisis struktur yang sudah dilakukan telah memenuhi syarat yang terdapat pada SNI-1726:2012 pasal 7.9.1 yaitu partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90%.

Tabel 4.19 Rasio Partisipasi Massa

OutputCase	StepType	StepNum	SumUX	SumUY
Text	Text	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	0	0.64
MODAL	Mode	2	0.71	0.64
MODAL	Mode	3	0.71	0.71
MODAL	Mode	4	0.71	0.83
MODAL	Mode	5	0.85	0.83
MODAL	Mode	6	0.85	0.85
MODAL	Mode	7	0.85	0.89
MODAL	Mode	8	0.85	0.89
MODAL	Mode	9	0.86	0.89
MODAL	Mode	10	0.86	0.89
MODAL	Mode	11	0.86	0.89
MODAL	Mode	12	0.86	0.9
MODAL	Mode	13	0.87	0.9
MODAL	Mode	14	0.92	0.9
MODAL	Mode	15	0.92	0.91
MODAL	Mode	16	0.92	0.92
MODAL	Mode	17	0.92	0.92
MODAL	Mode	18	0.92	0.92
MODAL	Mode	19	0.92	0.93
MODAL	Mode	20	0.92	0.93

4.3.7.5 Kontrol Batas Simpangan antar Lantai (*Drift*)

Pembatasan simpangan antar lantai suatu struktur bertujuan untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan penghuni. Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.9.3 untuk memenuhi persyaratan simpangan digunakan rumus (pasal 7.8.6):

$$\Delta_i \leq \Delta_a$$

Di mana:

Δ_i = Simpangan yang terjadi

Δ_a = Simpangan izin antar lantai

Perhitungan Δ_i untuk tingkat 1:

$$\Delta_1 = Cd \times \frac{\delta_{e1}}{I_e}$$

Perhitungan Δ_i untuk tingkat 2:

$$\Delta_2 = \frac{(\delta_{e2} - \delta_{e1})Cd}{I_e}$$

Di mana:

δ_{e1} = Simpangan yang dihitung akibat beban gempa tingkat 1

δ_{e2} = Simpangan yang dihitung akibat beban gempa tingkat 2

C_d = Faktor pembesaran defleksi

I_e = Faktor keutamaan gedung

- Untuk contoh perhitungan simpangan x akibat gempa arah x pada Lantai Dasar didapat

$$\Delta_1 = Cd \times \frac{\delta_{e1}}{I_e} = 5,5 \times \frac{0,18}{1,5} = 0,65 \text{ mm}$$

- Untuk contoh perhitungan simpangan x akibat gempa arah x pada Lantai 2 didapat

$$\Delta_2 = \frac{(\delta_{e2} - \delta_{e1})Cd}{I_e} = (0,59 - 0,18) \times \frac{5,5}{1,5} = 1,52 \text{ mm}$$

Pada Tabel 4.20 dijelaskan untuk sistem struktur yang lain simpangan antar tingkat izinnya adalah :

$$\Delta_a = 0,010 \cdot h_{sx}$$

Di mana :

h_{sx} = Tinggi tingkat di bawah tingkat x

- Untuk tinggi tingkat 4 m, simpangan izinnya adalah

$$\Delta_a = 0,010 \cdot 4000$$

$$= 40 \text{ mm}$$

Tabel 4.20 Simpangan antar Lantai yang diizinkan

Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit – langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Dari analisis akibat beban lateral (beban gempa) dengan program SAP2000, diperoleh nilai simpangan yang terjadi pada struktur yaitu sebagai berikut :

Tabel 4.21 Simpangan antar Lantai yang Terjadi Akibat Beban

Lantai	Tinggi Lantai	Simpangan Gempa X		Simpangan Gempa Y		Lantai	Tinggi Lantai	Simpangan Gempa X		Simpangan Gempa Y	
	Zi	X	Y	X	Y		Zi	X	Y	X	Y
	m	mm	mm	mm	mm		m	mm	mm	mm	mm
20 (Atap)	76	12.22	5.32	4.55	21.93	9	32	5.23	2.19	1.95	9.04
19	72	11.71	5.08	4.36	20.96	8	28	4.50	1.86	1.68	7.68
18	68	11.20	4.84	4.17	19.96	7	24	3.78	1.53	1.41	6.33
17	64	10.64	4.59	3.96	18.93	6	20	3.07	1.22	1.15	5.01
16	60	10.05	4.33	3.74	17.86	5	16	2.39	0.91	0.89	3.77
15	56	9.42	4.06	3.51	16.74	4	12	1.74	0.64	0.65	2.62
14	52	8.76	3.78	3.26	15.56	3	8	1.13	0.39	0.42	1.62
13	48	8.09	3.48	3.01	14.34	2	4	0.59	0.19	0.22	0.80
12	44	7.39	3.17	2.75	13.06	1	0	0.18	0.06	0.07	0.24
11	40	6.68	2.85	2.49	11.75	Basement	-4	0.00	0.00	0.00	0.00
10	36	5.96	2.53	2.22	10.41						

Tabel 4.22 Kontrol Simpangan

Kontrol Gempa X			Kontrol Gempa Y		
δe_i	$\delta e_{(i+1)} - \delta e_i$	Δi	δe_i	$\delta e_{(i+1)} - \delta e_i$	Δi
mm	mm	mm	mm	mm	mm
12	0.51	1.86	21.9	0.98	3.58
12	0.51	1.89	20.9	0.99	3.64
11	0.55	2.03	19.9	1.03	3.77
11	0.60	2.18	18.9	1.07	3.93
10	0.63	2.30	17.8	1.12	4.11
9.4	0.65	2.40	16.7	1.17	4.31
8.8	0.68	2.48	15.5	1.23	4.50
8.1	0.70	2.55	14.3	1.27	4.67
7.4	0.71	2.61	13.0	1.31	4.82
6.7	0.72	2.65	11.7	1.34	4.93
6	0.73	2.67	10.4	1.36	5.00
5.2	0.73	2.67	9.0	1.37	5.01
4.5	0.72	2.65	7.6	1.35	4.96
3.8	0.71	2.59	6.3	1.31	4.82
3.1	0.68	2.51	5.0	1.25	4.57
2.4	0.65	2.39	3.7	1.15	4.20
1.7	0.61	2.22	2.6	1.00	3.68
1.1	0.54	1.98	1.6	0.81	2.98
0.6	0.41	1.52	0.8	0.57	2.08
0.2	0.18	0.65	0.2	0.24	0.86
0	0.00		0	0.00	

Dari hasil kontrol Tabel 4.22 di atas maka analisis struktur gedung RSUD Koja Jakarta memenuhi persyaratan sesuai dengan SNI 1726:2012 Pasal 7.9.3 dan Pasal 7.12.1

4.3.7.6 Kontrol Sistem Ganda

Untuk sistem ganda, rangka pemikul momen harus mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa desain. Tahanan gaya gempa total harus disediakan oleh kombinasi rangka pemikul momen dan dinding geser atau rangka bresing, dengan distribusi yang proporsional terhadap kekakuannya.

Tabel 4.23 Persentase Gaya Geser yang Mampu Dipikul Sistem Struktur

Pemikul Gaya Geser	Arah X (N)	%	Arah Y (N)	%
Dinding Geser	8513337.9	72%	9289649.93	69%
Sistem Rangka	3366184.1	28%	4128673.52	31%
Total	11879522	OK	13418323.45	OK

Maka dari Tabel 4.23 konfigurasi dinding geser dan rangka memenuhi persyaratan.

4.4 Struktur Utama

4.4.1 Umum

Struktur utama merupakan suatu komponen utama di mana kekakuannya mempengaruhi perilaku gedung tersebut. Struktur utama memiliki fungsi untuk menahan pembebanan yang berasal dari beban gravitasi dan beban lateral berupa beban gempa maupun beban angin. Komponen utama terdiri dari balok induk, kolom, dan dinding geser. Pada bab ini akan dibahas mengenai kekuatan struktur utama mencakup kebutuhan tulangan yang diperlukan pada komponen tersebut.

4.4.2 Perencanaan Balok Induk

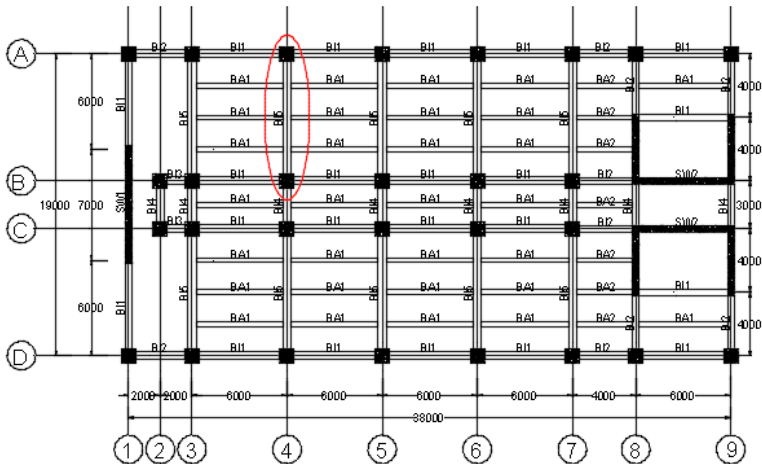
Balok induk merupakan struktur utama yang memikul beban struktur sekunder dan meneruskan beban tersebut ke kolom. Di dalam *preliminary design* Gedung RSUD Koja Jakarta direncanakan dimensi balok induk dengan menggunakan sistem pracetak.

4.4.2.1 Penulangan Lentur Balok Induk

Balok induk yang direncanakan adalah balok induk dengan sistem pracetak. Penulangan lentur balok ini harus memperhatikan dua kondisi, yaitu kondisi sebelum komposit dan setelah komposit. Dari dua kondisi tersebut dipilih tulangan yang lebih kritis untuk digunakan pada penulangan balok induk tersebut. Pada perhitungan akan dihitung Balok Induk BI5 dengan bentang 8 m

Data Perencanaan :

Mutu beton (f'_c)	= 30 MPa
Mutu baja tulangan (f_y)	= 40 MPa
Dimensi Balok Induk	= 50/70 cm
Diameter tulangan longitudinal	= 25 mm
Diameter tulangan sengkang	= 13 mm



Gambar 4.35 Denah Pembalok

4.4.2.2 Penulangan Lentur Balok Induk Melintang Sebelum Komposit

Pada kondisi sebelum komposit, balok pracetak dimodelkan sebagai balok sederhana pada tumpuan dua sendi. Pembebanan yang digunakan untuk menghitung tulangan pada kondisi sebelum komposit adalah beban yang berasal dari pelat, *overlapping* dan berat balok itu sendiri. Perhitungan untuk pembebanan merata pada balok induk akan dihitung sebagai beban dengan konsep *tributary area*.

a. Pelat sebelum *overlapping*, ada beban kerja

Beban mati

$$\text{Berat sendiri pelat pracetak} = 0,1 \times 2400 = 240 \text{ kg/m}^2$$

Beban Hidup

$$\text{Beban Pekerja} = 200 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Dimensi balok induk sebelum komposit} = 50/55$$

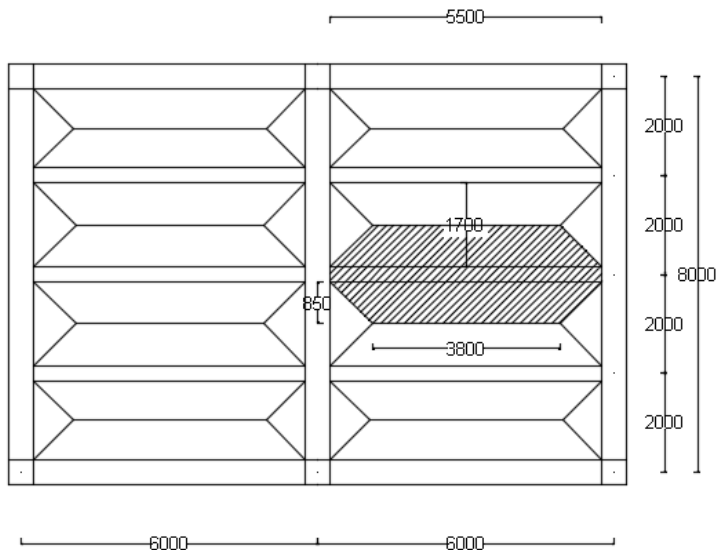
$$\text{Bentang balok induk} = 8 \text{ m}$$

Pada kondisi sebelum komposit, balok hanya menerima beban mati dan hidup dari pelat pracetak, balok anak, dan berat balok induk itu sendiri.

Beban pada balok induk

Beban yang terjadi pada tiap balok induk adalah berat sendiri balok induk, berat titik akibat balok anak, dan berat ekuivalen pelat (segitiga)

- Beban yang dipikul balok anak



Gambar 4.36 Beban yang Dipikul Balok Anak

Beban Mati

$$\text{Berat balok anak} = 0,3 \times 0,35 \times 5,5 \times 2400 = 1386 \text{ kg}$$

$$\text{Berat pelat yang dipikul balok anak} = 240 \times 2 \times 0,5 \times$$

$$(3,8 + 5,5) \times 0,85 = 1897,2 \text{ kg}$$

$$\text{DL} = 1386 + 1897,2 = 3283,2 \text{ kg}$$

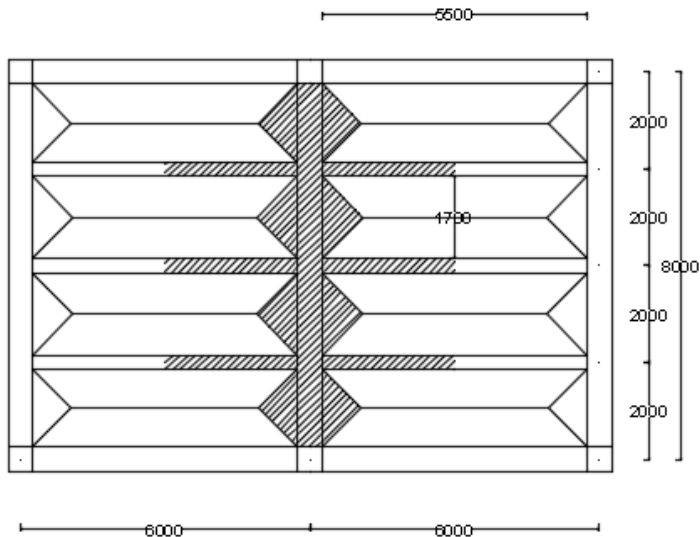
Beban Hidup

$$LL = 200 \times 2 \times 0,5 \times (3,8 + 5,5) \times 0,85 = 1581 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} Pu &= 1,2DL + 1,6LL \\ &= 1,2 \times 3283,2 + 1,6 \times 1581 \\ &= 6469,44 \text{ kg} \end{aligned}$$

Beban ini menjadi beban titik di balok induk.

- Beban yang dipikul balok induk



Gambar 4.37 Beban yang Dipikul Balok Induk

Beban Mati

$$\text{Berat balok induk} = 0,5 \times 0,55 \times 2400 = 660 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat ekuivalen pelat} = 240 \times 8 \times 0,5 \times 1,7 \times 0,85/8 = 173,4 \text{ kg/m}$$

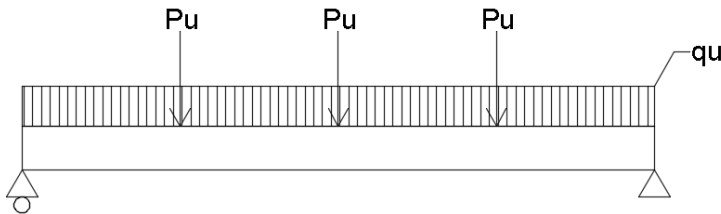
$$\text{Total beban mati (qDL)} = \text{berat balok induk} + \text{berat ekuivalen pelat}$$

$$\begin{aligned}
 &= 660 \text{ kg/m} + 173,4 \text{ kg/m} \\
 &= 833,4 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Beban Hidup

$$q_{LL} = 200 \times 8 \times 0,5 \times 1,7 \times \frac{0,85}{8} = 144,5 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}
 q_u &= 1,2q_{DL} + 1,6q_{LL} \\
 &= 1,2(833,4) + 1,6(144,5) \\
 &= 1231,28 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.38 Pembebanan pada Balok Induk sebelum Komposit

$$\begin{aligned}
 M_u &= \frac{1}{8} q_u \times L^2 + \frac{1}{2} P_u \times L \\
 &= \frac{1}{8} 1231,28 \times 8^2 + \frac{1}{2} \times 6469,44 \times 8 \\
 &= 35728 \text{ kgm} \\
 &= 357280000 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

a. Pelat setelah *overtopping*, tidak ada beban kerja

Beban mati

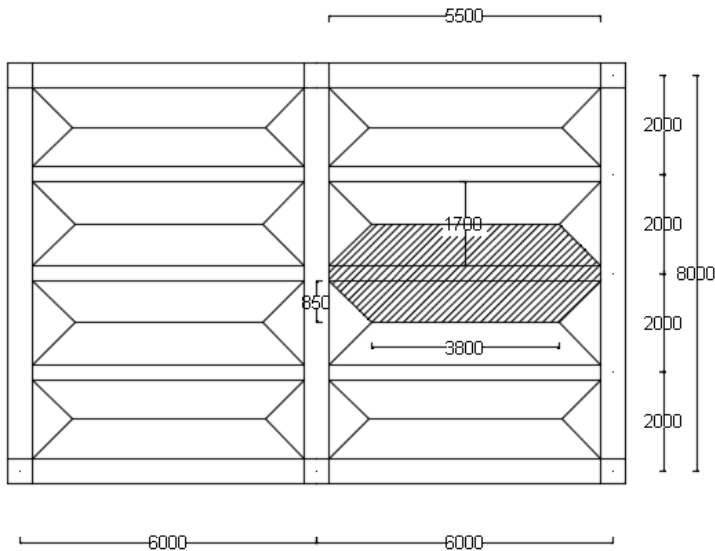
$$\begin{aligned}
 \text{Berat sendiri pelat pracetak} &= 0,1 \times 2400 = 240 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Overtopping} &= 0,05 \times 2400 = \underline{120 \text{ kg/m}^2} + \\
 &= 360 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

Pada kondisi sebelum komposit, balok hanya menerima beban mati dan hidup dari pelat pracetak dan *overtopping*-nya, balok anak, dan berat balok induk itu sendiri.

Beban pada balok induk

Beban yang terjadi pada tiap balok induk adalah berat sendiri balok induk, berat titik akibat balok anak, dan berat ekuivalen pelat + *overtopping* (segitiga)

- Beban yang dipikul balok anak



Gambar 4.39 Beban yang Dipikul Balok Anak

Beban Mati

$$\text{Berat balok anak} = 0,3 \times 0,5 \times 5,5 \times 2400 = 1980 \text{ kg}$$

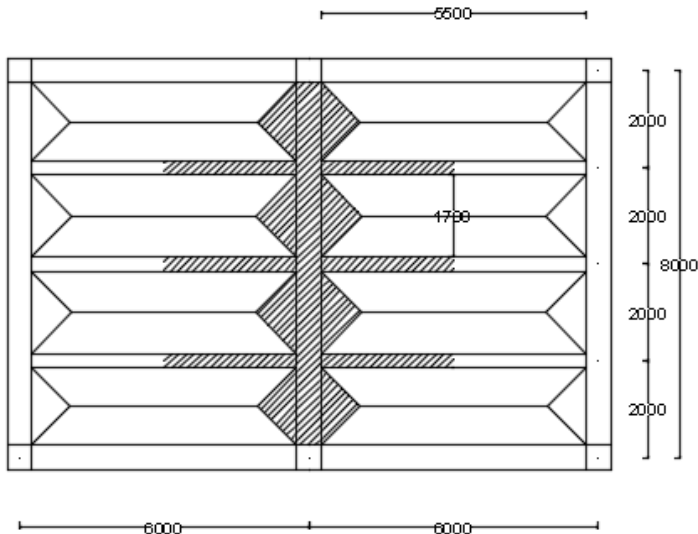
$$\text{Berat pelat yang dipikul balok anak} = 360 \times 2 \times 0,5 \times (3,8 + 5,5) \times 0,85 = 2845,8 \text{ kg}$$

$$\text{DL} = 1980 + 2845,8 = 4825,8 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 P_u &= 1,4DL \\
 &= 1,4 \times 4825,8 \\
 &= 6756,12 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Beban ini menjadi beban titik di balok induk.

- Beban yang dipikul balok induk



Gambar 4.40 Beban yang Dipikul Balok Induk

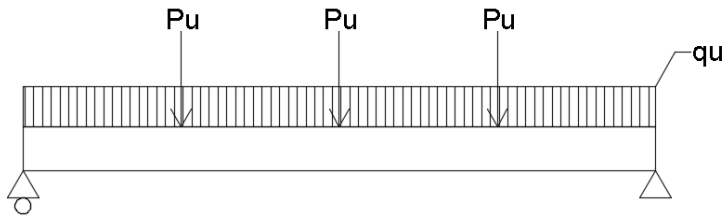
Beban Mati

$$\text{Berat balok induk} = 0,5 \times 0,7 \times 2400 = 840 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat ekuivalen pelat} = 360 \times 8 \times 0,5 \times 1,7 \times 0,85/8 = 260,1 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total beban mati (qDL)} &= \text{berat balok induk} + \text{berat ekuivalen pelat} \\
 &= 840 \text{ kg/m} + 260,1 \text{ kg/m} \\
 &= 1100,1 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_u &= 1,4qDL \\
 &= 1,4(1100,1) \\
 &= 1540,14 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.41 Pembebanan pada Balok Induk sebelum Komposit

$$\begin{aligned}
 M_u &= \frac{1}{8} q_u \times L^2 + \frac{1}{2} P_u \times L \\
 &= \frac{1}{8} 1540,14 \times 8^2 + \frac{1}{2} \times 6756,12 \times 8 \\
 &= 39345,6 \text{ kgm} \\
 &= 393456000 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Jadi, momen (M_u) yang akan dipakai dalam perhitungan tulangan lentur balok induk setelah komposit adalah 393456000 Nmm.

Tulangan Lentur

Dimensi balok induk 50/55

Bentang balok induk 8 m

Direncanakan menggunakan tulangan diameter 25 mm

Tebal selimut = 40 mm

$dx = 550 - 40 - 13 - \frac{1}{2} \times 25 = 484,5 \text{ mm}$

$b = 500 \text{ mm}$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(f'_c - 28)}{7}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(30 - 28)}{7} = 0,83$$

SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3

$$\rho_{\min} = 0,0035$$

$$M_u = 393456000 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{393456000}{0,9 \times 500 \times 484,5^2} = 3,73$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 3,73}{400}} \right) = 0,0102$$

ternyata $\rho > \rho_{\min} = 0,0035$

maka digunakan $\rho = 0,0102$

$$A_{s\text{perlu}} = 0,0102 \times 500 \times 484,5 = 2450,16 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{s\text{perlu}}}{\frac{AD25}{510}} = \frac{2450,16}{510} = 4,81 \approx 5 \text{ buah}$$

Pakai tulangan 5D25 mm ($A_s = 2550 \text{ mm}^2$)

Kontrol regangan tarik

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{2550 \times 400}{0,85 \times 30 \times 500} = 80$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{80}{0,83} = 96,39$$

$$\varepsilon_t = \left(\frac{d}{c} - 1 \right) 0,003 = \left(\frac{484,5}{96,39} - 1 \right) 0,003 = 0,0121 \geq 0,005$$

4.4.2.3 Penulangan Lentur Balok Induk Melintang Sesudah Komposit

Data - data yang akan digunakan dalam merencanakan balok induk ini adalah sebagai berikut:

Dimensi balok induk = 50/70 cm

$$\begin{aligned}
\text{Panjang balok induk} &= 8 \text{ m} \\
\text{Diameter tulangan utama} &= 25 \text{ mm} \\
\text{Diameter sengkang} &= 13 \text{ mm} \\
\text{Tebal selimut} &= 40 \text{ mm} \\
d = 700 - 40 - 13 - \frac{1}{2} \times 25 &= 634,5 \text{ mm} \\
d' = 40 + 13 + \frac{1}{2} \times 25 &= 65,5 \text{ mm} \\
b &= 500 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(f'c - 28)}{7}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(30 - 28)}{7} = 0,83$$

SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3

$$\rho_{\min} = \frac{1}{4} \times \frac{\sqrt{f'c}}{f_y} = \frac{1}{4} \times \frac{\sqrt{30}}{400} = 0,0034$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

Desain balok induk dilakukan dengan tulangan rangkap, di mana untuk mendesain tulangan lentur diperhitungkan gaya gempa arah bolak-balik (kiri dan kanan) yang akan menghasilkan momen positif dan negatif pada tumpuan. Hasil perencanaan penulangan yang nantinya akan digunakan merupakan kombinasi dari perencanaan bertahap tersebut dengan mengambil jumlah tulangan yang terbesar.

Dari analisa *software* SAP2000 didapat nilai momen sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
M \text{ tumpuan negatif} &= -735127930 \text{ Nmm} \\
M \text{ tumpuan positif} &= 325278512 \text{ Nmm} \\
M \text{ lapangan} &= 403064759 \text{ Nmm}
\end{aligned}$$

a. Perhitungan balok T beam

- Lebar efektif

$$be_1 = \frac{1}{4} \times L_b = \frac{1}{4} \times 800 = 200 \text{ cm}$$

$$be_2 = 8 \times t_p = 8 \times 15 = 120 \text{ cm}$$

$$be_3 = \frac{1}{2} \times b = \frac{1}{2} \times 500 = 250 \text{ cm}$$

b. Penulangan Tumpuan (balok dianggap persegi)**b.1. Tulangan negatif tumpuan**

Direncanakan menggunakan tulangan D25

$$M_u^{(-)} = 735127930 \text{ Nmm}$$

Pakai jumlah tulangan tarik, $n = 7$ buah ($A_s = 3570 \text{ mm}^2$)

Pakai jumlah tulangan tekan, $n' = 4$ buah ($A_s' = 2040 \text{ mm}^2$)

$$d = 700 - 40 - 13 - (0,5 \times 25) = 634,5 \text{ mm}$$

$$d' = 40 + 13 + (0,5 \times 25) = 65,5 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(30-28)}{7} = 0,83$$

▪ Analisa tulangan rangkap

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{3570}{500 \times 634,5} = 0,0113$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b_w \times d} = \frac{2040}{500 \times 634,5} = 0,0065$$

$$\rho - \rho' = 0,0113 - 0,0065 = 0,009$$

$$\frac{0,85 \times f'c \times \beta_1 \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - f_y} = \frac{0,85 \times 30 \times 0,83 \times 65,5}{400 \times 634,5} \times \frac{600}{600 - 400} = 0,0165 \geq \rho - \rho'$$

Maka tulangan tekan belum leleh

$$\text{Maka: } A_s \cdot f_y = 0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot c \cdot b + A_s' \left(600 \left(\frac{c-d'}{c} \right) - 0,85 \cdot f'c \right)$$

Dengan penyelesaian persamaan kuadrat didapat $c = 99,58 \text{ mm}$

$$a = \beta_1 \cdot c = 0,83 \cdot 99,58 = 83,22 \text{ mm}$$

$$f's = 600 \left(\frac{c-d'}{c} \right) = 600 \left(\frac{99,58-65,5}{99,58} \right) = 205,36 \leq 400 \text{ MPa}$$

Tulangan tekan dalam kondisi tarik

Maka diambil $f's = 205,36 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned}
 Mn &= (As \cdot fy - As' \cdot f's) \left(d - \frac{a}{2} \right) + A's \cdot f's \cdot (d - d') \\
 &= (3570 \times 400 - 2040 \times 205,36) \left(634,5 - \frac{83,22}{2} \right) + \\
 &\quad (2040 \times 205,36(634,5 - 65,5)) \\
 &= 836637216,9 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi &= 0,75 + 0,15 \left(\frac{\frac{1}{c}}{\frac{d}{dt}} - \frac{5}{3} \right) \\
 &= 0,75 + 0,15 \left(\frac{1}{\frac{99,58}{634,5}} - \frac{5}{3} \right) = 2,34 \geq 0,9
 \end{aligned}$$

$$\phi Mn = 0,9 \times 836637216,9 = 752973495,2 \text{ Nmm}$$

$$\phi Mn \geq Mu = 735127930 \text{ Nmm (OK)}$$

b.2. Tulangan positif tumpuan

Direncanakan menggunakan tulangan D25

$$Mu^{(+)} = 325278512 \text{ Nmm}$$

Pakai jumlah tulangan tarik, n = 4 buah ($As = 2040 \text{ mm}^2$)

Pakai jumlah tulangan tekan, n' = 7 buah ($As' = 3570 \text{ mm}^2$)

$$d = 700 - 40 - 13 - (0,5 \times 25) = 634,5 \text{ mm}$$

$$d' = 40 + 13 + (0,5 \times 25) = 65,5 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(30-28)}{7} = 0,83$$

▪ Analisa tulangan rangkap

$$\rho = \frac{As}{bw \times d} = \frac{2040}{500 \times 634,5} = 0,0065$$

$$\rho' = \frac{As'}{bw \times d} = \frac{3570}{500 \times 634,5} = 0,0113$$

$$\rho - \rho' = 0,0113 - 0,0065 = -0,009$$

$$\begin{aligned}
 \frac{0,85 \times f'c \times \beta_1 \times d'}{fy \times d} \times \frac{600}{600 - fy} &= \frac{0,85 \times 30 \times 0,83 \times 65,5}{400 \times 634,5} \times \frac{600}{600 - 400} \\
 &= 0,0165 \geq \rho - \rho'
 \end{aligned}$$

Maka tulangan tekan belum leleh

$$\text{Maka: } As \cdot fy = 0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot c \cdot b + As' \left(600 \left(\frac{c-d'}{c} \right) - 0,85 \cdot f'c \right)$$

Dengan penyelesaian persamaan kuadrat didapat $c = 70,61 \text{ mm}$

$$a = \beta_1 \cdot c = 0,83 \cdot 70,61 = 59,01 \text{ mm}$$

$$f's = 600 \left(\frac{c-d'}{c} \right) = 600 \left(\frac{70,61-65,5}{70,61} \right) = 43,35 \leq 400 \text{ MPa}$$

Tulangan tekan dalam kondisi tarik

Maka diambil $f's = 43,35 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} Mn &= (As \cdot fy - As' \cdot f's) \left(d - \frac{a}{2} \right) + A's \cdot f's \cdot (d - d') \\ &= (2040 \times 400 - 3570 \times 43,35) \left(634,5 - \frac{59,1}{2} \right) + \\ &\quad (3570 \times 43,35)(634,5 - 65,5) \\ &= 488108014,8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi &= 0,75 + 0,15 \left(\frac{\frac{1}{\frac{c}{dt}} - \frac{5}{3}}{\frac{1}{\frac{70,61}{634,5}} - \frac{5}{3}} \right) \\ &= 0,75 + 0,15 \left(\frac{\frac{1}{\frac{70,61}{634,5}} - \frac{5}{3}}{\frac{1}{\frac{70,61}{634,5}} - \frac{5}{3}} \right) = 1,84 \geq 0,9 \end{aligned}$$

$$\phi Mn = 0,9 \times 488108014,8 = 439297213,4 \text{ Nmm}$$

$$\phi Mn \geq Mu = 325278512 \text{ Nmm (OK)}$$

Maka tulangan yang direncanakan kuat menahan beban *ultimate* dari balok

c. Penulangan Lapangan (balok dianggap balok T palsu)

Penulangan lentur lapangan didasarkan pada nilai momen yang terjadi di daerah lapangan. Besar momen lapangan yang terjadi di bagian balok melintang interior ialah sebesar $M_u = 403064759 \text{ Nmm}$ (analisis *software* SAP2000).

Sebelum dilakukan analisis desain perencanaan untuk tulangan lapangan perlu dilakukan cek apakah balok pada daerah lapangan tergolong balok T atau bukan dengan perumusan sebagai berikut:

$$be_1 = \frac{1}{4} \times L_b = \frac{1}{4} \times 800 = 200 \text{ cm}$$

$$be_2 = b_w + 16t = 50 + (16 \times 15) = 290 \text{ cm}$$

$$be_3 = \frac{1}{2} (L_b - b_w) = \frac{1}{2} (800 - 50) = 375 \text{ cm}$$

$$b = be = 200 \text{ cm}$$

▪ Tulangan Lapangan

Direncanakan menggunakan tulangan D25

$$Mu^{(+)} = 403064759 \text{ Nmm}$$

Pakai jumlah tulangan tarik, $n = 5$ buah ($A_s = 2550 \text{ mm}^2$)

Pakai jumlah tulangan tekan, $n' = 2$ buah ($A_s' = 1020 \text{ mm}^2$)

$$d = 700 - 40 - 13 - (0,5 \times 25) = 634,5 \text{ mm}$$

$$d' = 40 + 13 + (0,5 \times 25) = 65,5 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(30-28)}{7} = 0,83$$

▪ Analisa tulangan rangkap

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{2550}{500 \times 634,5} = 0,0080$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b_w \times d} = \frac{1020}{500 \times 634,5} = 0,0032$$

$$\rho - \rho' = 0,0065 - 0,0032 = 0,0049$$

$$\frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1 \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - f_y} = \frac{0,85 \times 30 \times 0,83 \times 65,5}{400 \times 634,5} \times \frac{600}{600 - 400} = 0,0165 \geq \rho - \rho'$$

Maka tulangan tekan belum leleh

$$\text{Maka: } A_s \cdot f_y = 0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot c \cdot b + A_s' \left(600 \left(\frac{c-d'}{c} \right) - 0,85 \cdot f'_c \right)$$

Dengan penyelesaian persamaan kuadrat didapat $c = 84,99 \text{ mm}$

$$a = \beta_1 \cdot c = 0,83 \cdot 84,99 = 71,03 \text{ mm}$$

$$f'_s = 600 \left(\frac{c-d'}{c} \right) = 600 \left(\frac{71,03-65,5}{71,03} \right) = 137,61 \leq 400 \text{ MPa}$$

Tulangan tekan dalam kondisi tarik

Maka diambil $f'_s = 137,61 \text{ MPa}$

$$M_n = (A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f'_s) \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' \cdot f'_s \cdot (d - d')$$

$$\begin{aligned}
 &= (2550 \times 400 - 1020 \times 137,61) \left(634,5 - \frac{137,61}{2} \right) + \\
 &(1550 \times 137,61(634,5 - 65,5)) \\
 &= 835867045,1 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi &= 0,75 + 0,15 \left(\frac{1}{\frac{c}{dt}} - \frac{5}{3} \right) \\
 &= 0,75 + 0,15 \left(\frac{1}{\frac{137,61}{634,5}} - \frac{5}{3} \right) = 1,62 \geq 0,9
 \end{aligned}$$

$$\phi Mn = 0,9 \times 835867045 = 752280340 \text{ Nmm}$$

$$\phi Mn \geq Mu = 403064759 \text{ Nmm (OK)}$$

Maka tulangan yang direncanakan kuat menahan beban *ultimate* dari balok

Hasil dari penulangan setelah komposit adalah sebagai berikut:

- Tulangan Tumpuan

$$\text{Tulangan atas} = 7D25 (As = 3570) \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan bawah} = 4D25 (As = 2040) \text{ mm}^2$$

- Tulangan Lapangan

$$\text{Tulangan atas} = 2D25 (As = 1020) \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan bawah} = 5D25 (As = 2550) \text{ mm}^2$$

d. Penulangan Geser dan Torsi

Sesuai peraturan SNI 2847:2013 pada pasal 11 mengenai geser dan torsi, perencanaan tulangan geser dan torsi mengikuti kaidah berikut ini: Perencanaan penampang yang diakibatkan oleh geser harus didasarkan pada perumusan:

$$\Phi V_n \geq V_u \quad (\text{SNI 2847:2013 Pasal 11.1.1})$$

Dengan V_u merupakan gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau dan V_n merupakan kuat geser nominal yang ditinjau dari:

$$V_n = V_c + V_s$$

Di mana:

$$V_u = \text{Geser pada terfaktor penampang yang ditinjau}$$

Φ = Faktor reduksi geser (0,75)

V_n = Kuat geser nominal

V_c = Kuat geser beton

V_s = Kuat geser nominal tulangan geser

Sedangkan untuk perencanaan penampang yang diakibatkan oleh torsi harus didasarkan pada perumusan sebagai berikut:

$$\Phi T_n = T_u \text{ (SNI 2847:2013 Pasal 11.5.3.5)}$$

Tulangan sengkang untuk torsi harus direncanakan berdasarkan (SNI 2847:2013 Pasal 11.5.3.6) sesuai persamaan berikut:

$$T_n = \frac{2A_o A_t f_{yt}}{s} \cot \theta$$

Di mana:

T_n = Kuat momen torsi ($T_c + T_s > T_u$ min)

T_s = Kuat momen torsi nominal tulangan geser

T_c = Kuat torsi nominal yang disumbangkan oleh beton

A_o = Luas bruto yang dibatasi oleh lintasan aliran geser, mm

A_t = Luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan puntir dalam daerah sejarak s , mm²

F_{yv} = kuat leleh tulangan sengkang torsi (MPa)

S = Spasi tulangan geser atau puntir dalam arah paralel dengan tulangan longitudinal

Sesuai peraturan (SNI 2847:2013 Pasal 11.5.1) pengaruh torsi balok diabaikan bila momen torsi terfaktor T_u kurang dari:

$$\phi 0,33 \lambda \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

Di mana:

ϕ = Faktor reduksi kekuatan

F'_c = Kuat tekan beton (MPa)

A_{cp} = Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton (mm²)

P_{cp} = Keliling luar penampang beton (mm^2)

▪ **Penulangan Geser Balok Balok Induk 8 meter**

Penulangan geser balok induk didasarkan pada SNI 2847:2013 pasal 21.3.3 di mana nilai gaya geser rencana (yang digunakan untuk perencanaan desain) bukan hanya pada gaya geser yang terjadi, tetapi harus memenuhi persyaratan yang ada sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 21.3.3.

- Jumlah gaya lintang yang terjadi akibat termobilisasinya kuat lentur nominal komponen struktur pada setiap ujung bentang bersihnya dan akibat beban gravitasi terfaktor.
- Gaya lintang maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban rencana termasuk beban gempa di mana nilai beban gempa diambil sebesar dua kali lipat nilai yang ditentukan dalam peraturan perencanaan tahan gempa.

Dari perhitungan sebelumnya didapatkan penulangan tumpuan dan lapangan untuk balok dengan bentang 8 meter.

Perumusan perhitungan gaya lintang pada balok

$$V_u = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} \pm \left(\frac{W_u \times l_n}{2} + \frac{P_u}{2} \right)$$

Dari persyaratan yang telah ditetapkan di atas maka besarnya gaya geser rencana dilakukan dengan membandingkan nilai momen nominal ujung balok (pada muka kolom) ditambah dengan gaya geser beban gravitasi berfaktor.

▪ **Perhitungan Penulangan Geser Balok Induk Bentang 8 meter**

Nilai momen nominal maksimum dari cek momen tulangan nominal terpasang dengan asumsi tumpuan kiri dan kanan memiliki jumlah tulangan yang sama. Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.6.5.1 persamaan yang digunakan dalam menghitung tulangan geser adalah sebagai berikut:

$$Mpr = As \times 1,25 \times fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$a = \frac{As \times 1,25 \times fy}{0,85 \times f'c \times b}$$

Tabel 4.24 Nilai Mpr Balok Induk

Lokasi			Tul. Pasang	As (mm ²)	a (mm)	Mpr (kNm)
Tumpuan	Kiri	Atas	7	3570	140	1007632500
		Bawah	4	2040	80	606390000
	Kanan	Atas	7	3570	140	1007632500
		Bawah	4	2040	80	606390000

$$Mpr1 = 1007632500 \text{ Nmm}$$

$$Mpr2 = 606390000 \text{ Nmm}$$

$$Ln = 7,1 \text{ m}$$

Perhitungan beban pada balok induk

Beban Terpusat dari Balok Anak

Beban mati

$$\text{Berat sendiri balok anak} = 0,15 \times 2400 \times 5,5 = 1980 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat ekuivalen pelat(trapesium)} &= 360 \times 7,905 = 2845,8 \text{ kg}+ \\ \text{DL} &= 4825,8 \text{ kg} \end{aligned}$$

Beban hidup

$$\begin{aligned} \text{Rumah Sakit} &= 250 \times 0,8 \times 7,905 = 1581 \text{ kg}+ \\ \text{LL} &= 1581 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pu &= 1,2DL + 1,6LL = 1,2 \times 4825,8 + 1,6 \times 1581 \\ &= 8320,56 \text{ kg} \end{aligned}$$

Beban Terbagi Rata Balok Induk

Beban mati

$$\text{Berat ekuivalen pelat (segitiga)} = 360 \times 0,7225 = 260,1 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri balok induk} &= 0,35 \times 2400 = 840 \text{ kg/m} + \\ &\quad qD = 1100,1 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Beban hidup

$$\begin{aligned} \text{Rumah Sakit} &= 250 \times 0,8 \times 0,7225 = 144,5 \text{ kg/m} + \\ &\quad qL = 144,5 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_u &= 1,2qD + 1,6qL = 1,2 \times 1100,1 + 1,6 \times 144,5 \\ &= 1551,32 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Maka beban pada balok induk:

$$\begin{aligned} P_u \text{ total} &= 3 \times P_u \text{ (Balok anak ada di tiga titik)} \\ &= 3 \times 8302,56 \\ &= 24961,68 \text{ kg} \\ &= 249616,8 \text{ N} \end{aligned}$$

$$q_u = 1551,32 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} \pm \frac{W_u \times l_n + P_u}{2} \\ &= \frac{1007632500 + 606390000}{7,1} \pm \frac{1551,32 \times 7,1 + 249616,8}{2} \\ &= 227327,12 \pm 179880,27 \end{aligned}$$

$$V_u = \mathbf{407207,38 \text{ N}}$$

$$V_u = 47446,86 \text{ N}$$

$$V_u = 379624,8 \text{ N (SAP2000)}$$

▪ Pemasangan sengkang daerah sendi plastis

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.4.2 bahwa tulangan transversal untuk memikul geser dengan menganggap $V_c = 0$, apabila:

$$\begin{aligned} 1. \quad M_{pr} &\geq 0,5 \times \text{Total geser kombinasi gempa dan gravitasi} \\ &\quad ((1007632500 + 606390000))/7,1 \geq 0,5 \times 407207,38 \text{ kN} \\ &\quad 227327,12 \text{ N} > 203603,69 \text{ N (OK)} \end{aligned}$$

$$2. \quad \text{Gaya Aksial Tekan} < 0,25 \cdot A_g \cdot f_c'$$

Gaya aksial tekan pada balok sangat kecil

Karena gaya aksial terlalu kecil maka persyaratan memenuhi:

$$V_s = \frac{Vu}{\phi} = \frac{407207,38}{0,75} = 542943,16 \text{ N}$$

Jika dipakai begel 2 kaki dengan D13 mm ($A_v = 265,465 \text{ mm}^2$)

$$s = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{265,4 \times 400 \times 634,5}{542943,16} = 127,81 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.3.2 bahwa sengkang harus disediakan di sepanjang sendi plastis pada kedua ujung balok dengan panjang $2h = 2 \times 700 = 1500 \text{ mm}$ dengan jarak sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

1. $d/4 = 634,5 / 4 = 163,375 \text{ mm}$
2. $6 \times D_{\text{tul longitudinal}} = 6 \times 25 = 150 \text{ mm}$
3. 150 mm

Dari persyaratan di atas maka diambil sengkang di daerah sendi plastis D13-100 mm. Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan

• Pemasangan sengkang di luar sendi plastis

Nilai geser maksimum, V_u , di luar sendi plastis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_u' &= V_u - W_u(2h) = 407207,38 - 1551,32(2 \times 700) \\ &= 385488,893 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \times b_w \times d = \frac{\sqrt{30} \times 500 \times 634,5}{6} \\ &= 289608,3 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_s = \frac{V_u' - V_c}{\phi} = \frac{385488,893 - 289608,3}{0,75} = 224376,9 \text{ N}$$

Jika dipakai begel 2 kaki dengan D13 mm ($A_v = 265,465 \text{ mm}^2$)

$$S = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{265,46 \times 400 \times 634,5}{224376,9} = 300,27 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.3.4 bahwa jarak sengkang diluar sendi plastis di sepanjang balok tidak lebih dari:

$$s \leq d/2$$

$$\leq 634,5/2 = 326,75 \text{ mm}$$

Maka, dipakai sengkang di luar sendi plastis D13-300 mm.

▪ Perhitungan Penulangan Torsi

Data perencanaan:

Dimensi Balok Induk = 500/700 mm

Tu = 53200646,5 Nmm

Acp = 500 × 700

$$= 350000 \text{ mm}^2$$

Pcp = 2(500 + 700)

$$= 2400 \text{ mm}$$

Pada kasus ini balok induk termasuk torsi kompatibilitas di mana dapat terjadi redistribusi puntir sehingga berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 11.5.1 (a) maka momen puntir terfaktor maksimum dapat direduksi sesuai persamaan berikut:

$$Tu < \phi 0,33 \sqrt{f'c} \left(\frac{Acp^2}{Pcp} \right)$$

$$53200646,5 < 0,75 \times 0,33 \times \sqrt{30} \left(\frac{350000^2}{2400} \right)$$

$$53200646,5 < 69192763,71 \text{ N}$$

Maka Tu yang digunakan adalah 53200646,5 N

Torsi boleh diabaikan bila Tu lebih kecil dari:

$$\phi 0,083 \sqrt{30} \left(\frac{Acp^2}{pcp} \right) = 0,75 \times 0,083 \times \sqrt{30} \frac{350000^2}{2400}$$

$$= 17403028,45 \text{ Nmm}$$

Dengan demikian tulangan torsi dibutuhkan.

Dimensi penampang harus sebagai berikut:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0,66 \sqrt{f'_c} \right)$$

$$P_h = 2 \times (700 - 2 \times (40 + 13)) + 500 - 2 \times (40 + 13))$$

$$= 1976 \text{ mm}$$

$$A_{oh} = (700 - 2 \times (40 + 13)) \times (500 - 2 \times (40 + 13))$$

$$= 234036 \text{ mm}^2$$

$$\sqrt{\left(\frac{407207,38}{500 \times 634,5}\right)^2 + \left(\frac{53200646,5 \times 1976}{1,7 \times 234036^2}\right)^2} \leq 0,75 \left(\frac{289608,3}{500 \times 634,5} + 0,66 \sqrt{30} \right)$$

$$1,71 \leq 3,395 \text{ (OK)}$$

Desain penampang harus berdasarkan pada

$$\phi T_n \geq T_u$$

$$T_n = \frac{2 A_o A_t f_{yt}}{s} \cot \theta$$

Di mana :

$$A_o = 0,85 A_{ho}$$

$$= 0,85 (234036)$$

$$= 198930,6 \text{ mm}^2$$

$$\theta = 45^\circ \text{ (struktur non-prategang)}$$

maka,

$$\frac{A_t}{s} = \frac{\frac{T_u}{\phi}}{2 A_o f_{yt} \cot(45)} = \frac{53200646,5 / 0,75}{2 \times 198930,6 \times 400 \times 1}$$

$$= 0,45 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_t}{s} \text{ pakai} = 0,51 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_t}{s} \text{ min} = 0,175 \times \frac{b_w}{f_{yt}} = 0,175 \times \frac{500}{400}$$

$$= 0,21875 \text{ mm}^2/\text{m}$$

• **Luas Minimum Tulangan Torsi**

$$A_v + 2A_t = 0,062 \times \sqrt{f'c} \times bw \times \frac{s}{f_{yt}}$$

$$\frac{A_v}{s} + \frac{2A_t}{s} = 0,062 \times \sqrt{f'c} \times \frac{bw}{f_{yt}}$$

Di sendi plastis

$$\begin{aligned} \frac{A_v}{s} &= \frac{V_s}{f_{yt} \times d} = \frac{224376,88}{400 \times 634,5} \\ &= 2,14 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\left(\frac{A_v}{s} + 2 \times \frac{A_t}{s}\right) = 3,03 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ (OK)}$$

$$0,062 \times \sqrt{30} \times \frac{500}{400} = 0,43 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Di luar sendi plastis

$$\begin{aligned} \frac{A_v}{s} &= \frac{V_s}{f_{yt} \times d} = \frac{542943,17}{400 \times 634,5} \\ &= 0,88 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\left(\frac{A_v}{s} + 2 \times \frac{A_t}{s}\right) = 1,77 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ (OK)}$$

$$0,062 \times \sqrt{30} \times \frac{500}{400} = 0,43 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

▪ **Tulangan Longitudinal Torsi**

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.7 luas tulangan torsi longitudinal dihitung dengan:

$$\begin{aligned} A_l &= \left(\frac{A_t}{s}\right) \times Ph \times \left(\frac{f_{yt}}{f_y}\right) \cot^2(\theta) \\ &= 0,51 \times 1976 \times \left(\frac{400}{400}\right) \times 1 \\ &= 1007,76 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$AD25 = 510 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{1007,76}{510} = 1,98 \approx 2 \text{ buah}$$

Dipasang 2D25 ($A_l = 1020 \text{ mm}^2$). Kontrol luas tulangan longitudinal total minimum menurut SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.3:

$$\begin{aligned} Al_{min} &= \frac{0,42\sqrt{f'_c} \times Acp}{f_y} - \left(\frac{At}{s}\right) Ph \times \frac{f_{yt}}{f_y} \\ 1020 &\geq \frac{0,42\sqrt{30} \times 350000}{400} - 0,51 \times 1976 \times \frac{400}{400} \\ &\geq 1005,13 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan torsi longitudinal 2D25.

e. Kontrol lendutan

Komponen struktur beton yang mengalami lentur harus dirancang agar memiliki kekakuan cukup untuk batas deformasi yang akan memperlemah kemampuan layan struktur saat bekerja. Sesuai SNI 2847:2013 tabel 9.5(a), syarat tebal minimum balok apabila lendutan tidak dihitung adalah sebagai berikut:

Balok dengan dua tumpuan

$$h_{min} = \frac{1}{16} \times L_b$$

Lendutan tidak perlu dihitung sebab sejak *preliminary design* telah direncanakan agar tinggi dari masing-masing tipe balok lebih besar dari persyaratan h_{min}

f. Kontrol retak

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 14.8.2.4 tulangan dari komponen struktur harus memberikan kekuatan desain

$$\phi M_n \geq M_{cr}$$

di mana M_{cr} harus diperoleh menggunakan modulus hancur, f_r , yang diberikan pada SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.2

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t}$$

dan

$$f_r = 0,62\lambda\sqrt{f_c}$$

dimana:

M_{cr} = momen retak

f_r = modulus hancur beton

I_g = momen inersia penampang beton bruto

y_t = jarak dari sumbu pusat penampang bruto ke muka Tarik

λ = faktor modifikasi ($\lambda = 1,0$ untuk beton berat normal)

$$\begin{aligned} f_r &= 0,62 \times 1 \times \sqrt{30} \\ &= 3,396 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$I_g = \left(\frac{1}{12}\right) \times 500 \times 700^3 = 1429166667 \text{ mm}^4$$

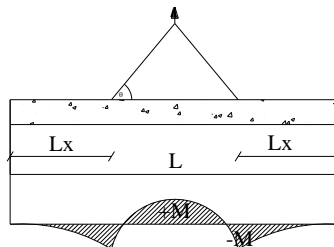
$$M_{cr} = \frac{3,396 \times 14,29 \times 10^9}{350} = 138665094,1 \text{ Nmm}$$

$$\phi Mn = 0,9 \times 510436400,4 = 459392760,3 \text{ Nmm}$$

$$\phi Mn \geq M_{cr} \text{ (OK)}$$

4.4.2.4 Pengangkatan Elemen Balok Induk

Balok induk dibuat secara pracetak di pabrik. Elemen balok harus dirancang untuk menghindari kerusakan pada waktu proses pengangkatan. Titik pengangkatan dan kekuatan tulangan angkat harus menjamin keamanan elemen balok tersebut dari kerusakan.



Gambar 4.42 Momen saat Pengangkatan Balok Induk

Di mana:

$$+M = \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{L \times \tan(\theta)} \right)$$

$$-M = \frac{WX^2}{2}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4Y_c}{L \times \tan(\theta)}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{Y_t}{Y_b} \left(1 + \frac{4Y_c}{L \times \tan(\theta)} \right)} \right)}$$

f. Kondisi sebelum komposit

$$b = 500 \text{ mm}$$

$$h = 700 - 150 = 550 \text{ mm}$$

$$L = 7100 \text{ mm}$$

Perhitungan :

$$Y_t = Y_b = \frac{700 - 150}{2} = 275 \text{ mm}$$

$$I = \frac{1}{12} \times 500 \times 550^3 = 6932291667 \text{ mm}^4$$

$$= 693229,17 \text{ cm}^4$$

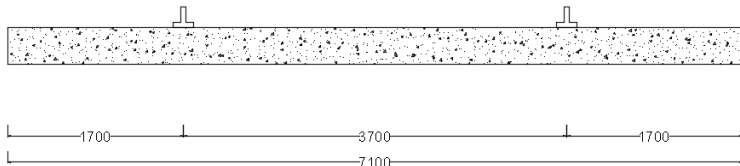
$$Y_c = Y_t + 50 = 325 \text{ mm}$$

$$= 32,5 \text{ cm}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4 \times 32,5}{710 \times \tan(45^\circ)}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \left(1 + \frac{4 \times 32,5}{710 \times \tan(45^\circ)} \right)} \right)} = 0,24$$

$$X \times L = 0,24 \times 710 = 1695,24 \approx 1700 \text{ mm}$$

$$L - 2XL = 7100 - 2 \times 1700 = 3700 \text{ mm}$$



Gambar 4.43 Letak Titik Pengangkatan

g. Perhitungan beban saat pengangkatan

$$\begin{aligned}\text{Balok} &= 0,5 \times 0,55 \times 7,1 \times 2400 \\ &= 4686 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T \sin(\alpha) = P &= \frac{1,2 \times k \times W}{2} \\ &= \frac{1,2 \times 1,2 \times 4686}{2} \\ &= 3373,92 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$T = \frac{P}{\sin(\theta)} = \frac{3373,92}{\sin(45)} = 4771,444 \text{ kg}$$

h. Tulangan angkat balok anak

$$P_u = 4771,444 \text{ kg}$$

$$\sigma_{tarik \text{ ijin}} = \frac{2400}{1,5} = 1600 \text{ kg/m}^2 = 16 \text{ kg/mm}^2$$

$$\phi_{tulangan \text{ angkat}} \geq \sqrt{\frac{P_u}{\sigma_{ijin.\pi}}} = \sqrt{\frac{4771,444}{16 \times \pi}} = 9,75 \text{ mm}$$

Maka digunakan tulangan $\phi 13 \text{ mm}$

i. Momen yang terjadi

$$\text{Beban balok} = 0,5 \times 0,55 \times 2400 = 660 \text{ kg/m}$$

$$k (\text{beban kejut}) = 1,2$$

$$\begin{aligned}+M &= \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Yc}{L \times \tan(\theta)} \right) \times k \\ &= \frac{660 \times 7,1^2}{8} \left(1 - 4 \times 0,24 + \frac{4 \times 0,325}{7,1 \times \tan(45)} \right) 1,2 \\ &= 1138,0347 \text{ kgm} \\ &= 11380347 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}-M &= \frac{WX^2}{2} \\ &= \frac{660 \times 0,24^2}{2} \\ &= 948,3623 \text{ kgm} \\ &= 9483623 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

j. Tegangan yang terjadi

$$W_t = \frac{1}{6}bh^2 = \frac{500 \times 550^2}{6} = 25208333,33 \text{ mm}^3$$

$$f = \frac{M}{W_t} = \frac{11380347}{25208333,33} = 0,37 \text{ MPa} \leq 0,7\sqrt{30} = 3,83 \text{ MPa}$$

(OK)

Dari perhitungan di atas, didapatkan nilai f akibat momen kurang dari nilai $f'_{r_{ijin}}$ usia beton 3 hari. Jadi dapat ditarik kesimpulan, balok induk tersebut aman dalam menerima tegangan akibat pengangkatan

4.4.2.5 Rekapitulasi Analisis Balok Induk**Tabel 4.25 Rekapitulasi Analisis Balok Induk**

	Satuan	Balok				
		BI1	BI2	BI3	BI4	BI5
Dimensi	cm	50/70	50/70	50/70	50/70	50/70
Bentang	mm	6000	4000	2000	3000	8000
f'_c	MPa	30	30	30	30	30
f_y	MPa	400	400	400	400	400
ρ_{min}		0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035
m		15.68	15.68	15.68	15.68	15.68
Tulangan Long.	mm	25	25	25	25	25
Tulangan Sengkan	mm	13	13	13	13	13
Tulangan lentur sebelum komposit						
Sebelum overtopping						
Mu	kgm	3564	6676.32	481.5	3193.35	35728
Setelah overtopping						
Mu	kgm	4158	7966.56	658.875	3754.0125	39345.6
ρ_{perlu}		0.001	0.002	0.0002	0.0009	0.0102
ρ		0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0102

	Satuan	Balok				
		BI1	BI2	BI3	BI4	BI5
Dimensi	cm	50/70	50/70	50/70	50/70	50/70
Asperlu	mm ²	847.875	847.875	847.875	847.875	2450.16
Pakai		3D25	4D25	2D25	3D25	5D25
Tulangan lentur setelah komposit						
-Mu Tumpuan	kN/mm ²	686694,6	581565,9	218703	419575,6	735128
+Mu Tumpuan	kN/mm ²	529418,9	640836,2	161104,6	417037,2	325278,6
+Mu Lapangan	MPa	359752,9	461885,5	142599,9	417037,2	403064,8
Analisa Tulangan Rangkap Tumpuan						
Tulangan Atas	buah	7 D25	6 D25	2 D25	4 D25	7 D25
Tulangan Bawah	buah	4 D25	5 D25	2 D25	4 D25	4 D25
Momen Negatif						
φMn	kNm	752,98	649,45	230	440,7	752,98
Momen Positif						
φMn	kNm	605,92	751,95	314,37	607,14	605,92
Analisa Tulangan Rangkap Lapangan						
Tulangan Bawah	buah	3 D25	4 D25	2 D25	3 D25	5 D25
Tulangan Atas	buah	2 D25	2 D25	2 D25	2 D25	2 D25
φMn	kNm	461,76	607,9	314,37	461,76	752,28
Tulangan Geser						
Daerah Sendi Plastis						
Mpr (+)	kNm	1007,64	878,99	313,4	606,39	1007,64
Mpr (-)	kNm	606,39	745,24	313,4	606,39	606,39
ln	mm	5100	3100	1100	2100	7100
qu	N/mm	7.92	14.8928	12.195	14.89	15.52

	Satuan	Balok				
		BI1	BI2	BI3	BI4	BI5
Dimensi	cm	50/70	50/70	50/70	50/70	50/70
Pangkatan Balok						
X		0.251	0.278	0.392	0.31	0.239
XL	mm	1300	900	500	700	1700
L-2XL	mm	2500	1300	100	700	3700
T	kg	3427,38	2083,31	739,24	1411,28	4771,45
fyt	MPa	240	240	240	240	240
Tegangan Tarik Ijin	kg/mm2	16	16	16	16	16
As butuh	mm2	214.22	130.21	46.21	88.21	298.22
d tul angkat	mm	2D13	2D13	2D13	2D13	2D16
Kontrol Tegangan Saat Pengangkatan Balok						
M(+)	kNmm	6479,6	2935,04	735,86	1669,32	11380,35
f	MPa	0.26	0.12	0.03	0.07	0.46
M(-)	kNmm	5399,67	2445,87	613,22	1391,1	9483,63
f	MPa	0.22	0.1	0.03	0.06	0.38
fr	MPa	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83

4.4.3 Perencanaan Kolom

4.4.3.1 Data Umum Perencanaan Kolom

Data umum perencanaan adalah sebagai berikut :

Dimensi	: 90/90 cm
Tinggi kolom	: 400 cm
Tinggi bersih kolom	: 330 cm
Tebal decking (d') kolom	: 40 cm
Diameter tulangan utama (D)	: 25 mm
Diameter sengkang (D)	: 16 mm

Mutu tulangan (f_y) : 400 MPa
 Mutu beton (f'_c) : 30 MPa

4.4.3.2 Kontrol Dimensi Kolom

Sebelum diperiksa syarat dimensi kolom menurut SNI 2847:2013 Pasal 21.6.1 harus dipenuhi bila:

- Kolom sebagai penahan gaya gempa dan yang menahan gaya tekan aksial
- Menerima beban aksial berfaktor lebih besar dari $A_g \cdot f'_c / 10$
 $= 900 \times 900 \times 30 / 10 = 2430000 \text{ N} = 2430 \text{ kN}$
 karena 2430 kN ini lebih kecil dari beban aksial berfaktor maksimum dari SAP2000 (13406,84 kN) maka pasal tersebut di atas berlaku :
- Dimensi penampang terpendek 900 mm > 300 mm (Ok)
- Rasio $b/h = 900/900 = 1 > 0,4$ (Ok)

4.4.3.3 Perhitungan Penulangan Kolom

Beban aksial dan momen yang terjadi pada kolom didapat dari SAP2000:

Tabel 4.26 Gaya Dalam Kolom

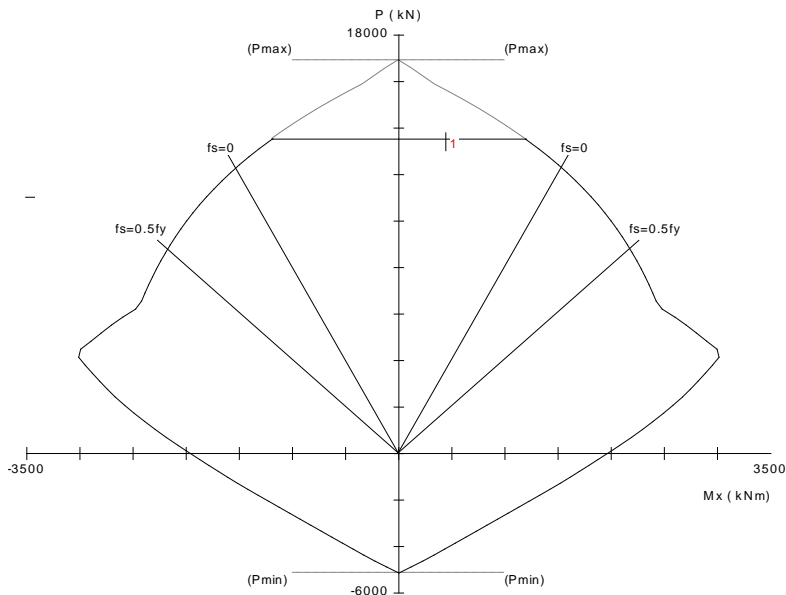
Ukuran (mm ²)	Aksial (kN)	Geser (kN)	Torsi (kN.m)	Momen (kNm)
900 x 900	13406,84	133,219	20,12	441,86

Sesuai dengan persyaratan pada SNI 2847:2013 komponen struktur yang memikul gaya aksial terfaktor akibat beban gravitasi terfaktor yang melebihi $A_g \cdot f'_c / 10$, harus memenuhi ketentuan pada pasal 21.6.4, 21.6.5, dan 21.7.3.

$$\begin{aligned}
 \text{Gaya aksial terfaktor} &\leq A_g \times \frac{f'_c}{10} \\
 &\leq 900 \times 900 \times \frac{30}{10} \\
 &\leq 2430 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Dari hasil analisis dengan program bantu SAP2000 didapat gaya aksial tekan terfaktor yang terbesar adalah 13406,84 kN. Karena beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur telah melebihi $Ag \times \frac{f'_c}{10}$, maka detail pengekangan kolom harus sesuai dengan SNI 2847:2013 *pasal 21.6.4, 21.6.5, dan 21.7.3.*

Dari beban aksial dan momen yang terjadi, kemudian dilakukan perhitungan penulangan memanjang kolom menggunakan program bantu SpColumn, didapatkan diagram interaksi antara aksial dan momen pada kolom, yaitu sebagai berikut:



Gambar 4.44 Grafik Interaksi antara Aksial dan Momen pada Kolom

4.4.3.4 Kontrol Rasio Tulangan Longitudinal Kolom

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 21.6.3.1, Luas tulangan memanjang, A_{st} , tidak boleh kurang dari 0,01 A_g atau lebih dari 0,06 A_g . Dari diagram interaksi yang dibuat oleh program SpColumn diperoleh Tulangan longitudinal : 28D25, dengan rasio tulangan = 1,76 % (OK).

4.4.3.5 Kontrol Kapasitas Beban Aksial Kolom Terhadap Beban Aksial Terfaktor

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 10.3.6.2 : kapasitas beban aksial kolom tidak boleh kurang dari beban aksial terfaktor hasil analisis struktur.

$$\begin{aligned}\phi P_n(max) &= 0,8\phi(0,85 \times f'_c \times (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st})) \\ &= 0,8 \times 0,65 \times (0,85 \times (30) \times (900 \times 900 - \\ &28 \times 510) + 400 \times 28 \times 510) \\ &= 13521487 \text{ N} \geq P_u = 13406838,1 \text{ N (OK)}\end{aligned}$$

4.4.3.6 Persyaratan “*Strong Column Weak Beam*”

Sesuai dengan filosofi desain kapasitas, maka SNI 2847:2013 pasal 21.6.2 mensyaratkan bahwa.

$$\sum M_{nc} \geq 1,2 \times \sum M_{nb}$$

Di mana $\sum M_{nc}$ adalah momen kapasitas kolom dan $\sum M_{nb}$ merupakan momen kapasitas balok. Perlu dipahami bahwa M_{nc} harus dicari dari gaya aksial terfaktor yang menghasilkan kuat lentur terendah, sesuai dengan arah gempa yang ditinjau yang dipakai untuk memeriksa syarat *strong column weak beam*. Setelah kita dapatkan jumlah tulangan untuk kolom, maka selanjutnya adalah mengontrol apakah kapasitas kolom tersebut sudah memenuhi persyaratan *strong column weak beam*.

Dari SpColumn didapatkan nilai $\phi M_{nc} = 122,63 \text{ kNm}$

$$M_{nc} = \frac{122,63}{\phi} = \frac{122,63}{0,65} = 1886,51 \text{ kNm}$$

$$M_{nb}(+) = 836,63 \text{ kNm}$$

$$Mnb(-) = 673,24 \text{ kNm}$$

$$\Sigma Mnc \geq 1,2 \times \Sigma Mnb$$

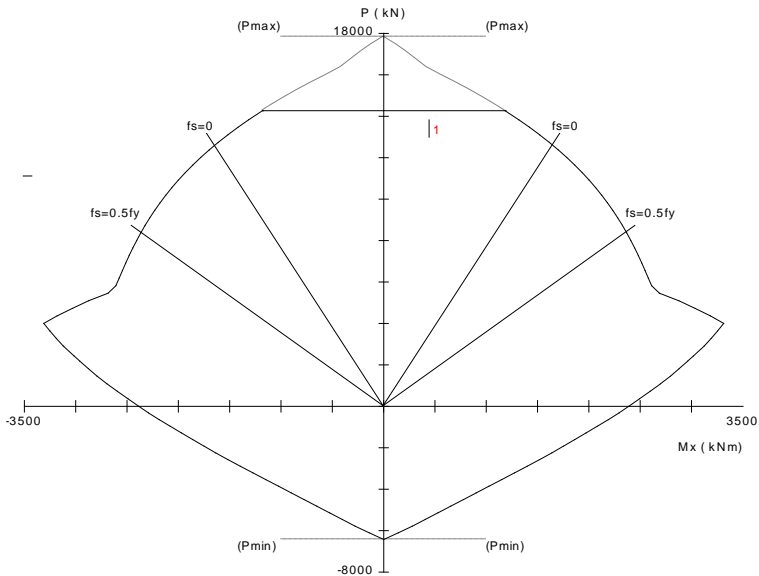
$$2 \times Mnc \geq 1,2 \times (Mnb(+) + Mnb(-))$$

$$2 \times 1886,51 \geq 1,2 \times (836,63 + 673,24)$$

$$3773,02 \geq 1811,85 \text{ kNm (OK)}$$

4.4.3.7 Kontrol Persyaratan Kolom Terhadap Gaya Geser Rencana (V_e)

Gaya geser desain, V_e , untuk menentukan kebutuhan tulangan geser kolom menurut SNI 2847:2013 pasal 21.6.5.1, harus ditentukan dari peninjauan terhadap gaya-gaya maksimum yang dapat dihasilkan di muka-muka pertemuan-pertemuan (*joints*) di setiap ujung komponen struktur. Gaya-gaya *joint* ini harus ditentukan menggunakan kekuatan momen maksimum yang mungkin, M_{pr} , di setiap ujung komponen struktur yang berhubungan dengan rentang dari beban aksial terfaktor, P_u , yang bekerja pada komponen struktur. Geser komponen struktur tidak perlu melebihi yang ditentukan dari kekuatan *joint* berdasarkan pada M_{pr} komponen struktur transversal yang merangka ke dalam *joint*. Dalam semua kasus V_e tidak boleh kurang dari geser terfaktor yang ditentukan oleh analisis struktur.



Gambar 4.45 Grafik Interaksi antara Aksial dan Momen pada Kolom dengan 1,25fy

Dari SpColumn didapat $M_{pr} = 2210,03 \text{ kNm}$. Bila dianggap M_{pr} yaitu momen *balance* kolom eksterior di atas dan di bawah lantai 1 sama besar maka :

$$\begin{aligned} V_e &= (2 \times M_{pr})/l_n \\ &= (2 \times 2210,03)/(4 - 0,7) = 1339,42 \text{ kN} \end{aligned}$$

Perhitungan M_{pr} balok :

M_{pr} balok yang digunakan adalah M_{pr} yang saling berlawanan arah. Pada perhitungan ini digunakan M_{pr} dari balok di satu sisi HBK dan M_{pr}^+ dari sisi HBK lainnya dengan menganggap momen lentur di atas dan bawah kolom yang mendukung lantai 1 berbanding kebalikan dengan tinggi masing-

masing (l_1 dan l_2) kolom, maka akan diperoleh gaya geser rencana berdasarkan M_{pr} balok sebagai berikut:

Perhitungan M_{pr}^+

$$- M_{pr}^+ = 1007,64 \text{ kNm}$$

$$- M_{pr}^- = 606,39 \text{ kNm}$$

$$V_u = 2 \times \frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{l_1} \times \frac{l_1}{l_1 + l_2}$$

Pada struktur l_1 dan l_2 adalah tinggi bersih kolom tingkat 1 dan 2 = 3,3 m.

Maka diperoleh :

$$V_u = 2 \times \frac{1007,64 + 606,39}{3,3} \times \frac{3,3}{3,3 + 3,3} = 489,1 \text{ kN}$$

Ternyata $V_e = 1339,42 \text{ kN} > 489,1 \text{ kN}$

Nilai geser diambil yang terbesar $V_u = 1339,42 \text{ kN}$

4.4.3.8 Pengekang Kolom

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.1, panjang ℓ_o tidak boleh kurang dari yang terbesar dari ketentuan:

$$\ell_o \geq h = 900 \text{ mm}$$

$$\ell_o \geq 1/6 \times \text{tinggi bersih kolom} = 1/6 \times 3300 = 550 \text{ mm}$$

$$\ell_o \geq 450 \text{ mm}$$

di mana s tidak boleh lebih besar dari (pasal 21.6.4.3):

$$- \frac{1}{4} \text{ dimensi terkecil kolom} = \frac{1}{4} \times 900 = 450 \text{ mm}$$

$$- 6 \times d_b = 6 \times 25 = 150 \text{ mm}$$

$$- S_o = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) = 100 + \left(\frac{350 - 327}{3} \right) = 107,67 \text{ mm}$$

Dimana S_o tidak perlu lebih besar dari 150 mm dan tidak perlu lebih kecil dari 100 mm. Maka dipakai jarak sengkang (s) = 100 mm

$A_{sh_{min}}$ sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.4 diperoleh dari nilai terbesar dari hasil rumus berikut :

$$A_{sh} = \frac{0,3s.b.c.f'_c}{f_{yt}} \left(\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right)$$

Dan

$$Ash = 0,09 \frac{s \cdot b_c \cdot f'c}{f_{yt}}$$

Keterangan :

S = jarak spasi tulangan transversal (mm)

b_c = dimensi potongan melintang dari inti kolom, diukur dari pusat ke pusat dari tulangan pengekang (mm)

A_g = luasan penampang kolom (mm)

A_{ch} = luasan penampang kolom diukur dari daerah terluar tulangan transversal (mm)

F_{yt} = kuat leleh tulangan transversal (Mpa)

Dengan asumsi bahwa $s = 100$ mm, $F_{yt} = 400$ MPa, selimut beton = 40 mm dan $D = 16$ mm. sehingga diperoleh :

$$Ash = \frac{0,3 \times 804 \times 30}{400} \left(\left(\frac{810000}{739600} \right) - 1 \right) = 172,2 \text{ mm}^2$$

$$Ash = 0,09 \frac{100 \times 804 \times 30}{400} = 542,7 \text{ mm}^2$$

Sehingga dipakai 4 Φ 16-100 mm ($A_v = 802,5 \text{ mm}^2$).

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \left(1 + \frac{Nu}{14 \times A_g} \right) \sqrt{30} \times b \times d \\ &= 0,17 \left(1 + \frac{13406838}{14 \times 900 \times 900} \right) \sqrt{30} \times 900 \times 831,5 \\ &= 1520620,96 \text{ N} \end{aligned}$$

$$= 1520,62 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \\ &= \frac{802,5 \times 400 \times 831,5}{100} \end{aligned}$$

$$= 2674927,9 \text{ N}$$

$$= 2674,927 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \phi(V_s + V_c) &= 0,75(1520,62 + 2674,927) \\ &= 3146,66 \text{ kN} \geq V_u = 1339,42 \text{ kN (OK)} \end{aligned}$$

Maka tulangan geser di sepanjang $L_o = 900$ mm cukup untuk menahan gaya geser. Di luar panjang L_o sengkang harus dipasang

dengan s lebih kecil dari $6D = 150 \text{ mm}$ atau 150 mm , maka di luar Lo sengkang dipasang $4D16-150 \text{ mm}$

4.4.3.9 Panjang Lewatan pada Sambungan Tulangan

Sambungan kolom yang diletakkan di tengah tinggi kolom harus memenuhi ketentuan panjang lewatan yang ditentukan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.2.2, sebagai berikut :

$$l_d = \left(\frac{f_y}{1,1\sqrt{f'_c}} \frac{\psi_t \times \psi_e \times \psi_s}{\left(\frac{cb + K_{tr}}{db} \right)} \right) \times db$$

Di mana :

$$\Psi_t = 1 ; \Psi_e = 1 ; \Psi_s = 1$$

$$K_{tr} = 0 \rightarrow \text{penyederhanaan desain}$$

$$cb = 40 + ds + \frac{1}{2}dl$$

$$= 40 + 16 + \frac{1}{2} 25$$

$$= 68,5 \text{ mm}$$

$$l_d = \left(\frac{400}{1,1\sqrt{30}} \frac{1 \times 1 \times 1}{\left(\frac{68,5 + 0}{25} \right)} \right) \times 25 = 605,76 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.7.2 sambungan lewatan tulangan ulir dan kawat ulir $l_d \geq 200 \text{ mm}$, maka digunakan panjang lewatan (l_d) = 650 mm

4.4.3.10 Rekapitulasi Analisis Penulangan Kolom

Tabel 4.27 Rekapitulasi Analisis Penulangan Kolom

Parameter	Satuan	K1	K2
Data Perencanaan			
Dimensi	cm	90/90	80/80
Pu	kN	13406.8381	5167.181
Vu	kN	133.219	247.3822
Mu	kNm	441.863311	509.225079
Tu	kNm	20.1146527	33.415932

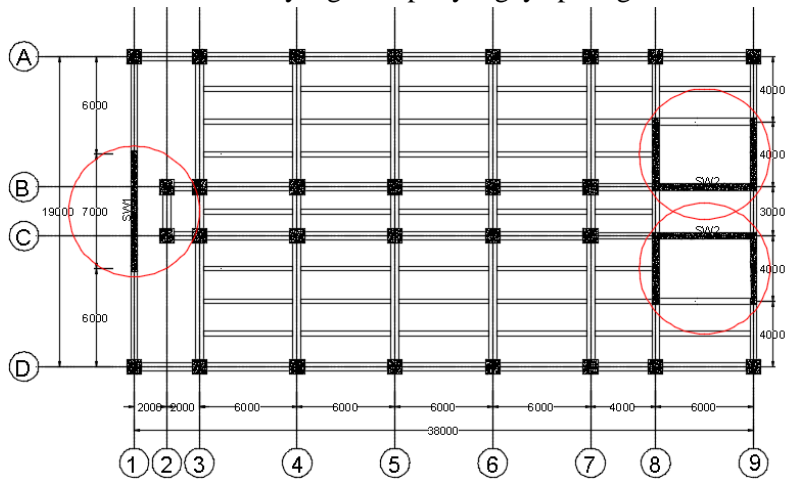
Parameter	Satuan	K1	K2
Kontrol Dimensi			
f_c	MPa	30	30
f_y	MPa	400	400
$A_g.f_c/10$	kN	2430	1920
$P_u > A_g.f_c/10$	kontrol	OK	OK
$b > 400$	kontrol	OK	OK
$b/h > 0.4$	kontrol	OK	OK
Penulangan Longitudinal			
Tul. Pakai		28D25	16D25
As	m^2	0.01428	0.00816
ρ		0.018	0.013
$1\% < \rho < 6\%$	kontrol	OK	OK
Kontrol Aksial			
ϕP_n	kN	13521.4872	10075.4784
$\phi P_n > P_u$	kontrol	OK	OK
Kontrol Strong Column Weak Beam			
ΣM_{nc}	kNm	3773.015385	3118.523077
$\Sigma M_n B$	kNm	1811.849885	1811.849885
$\Sigma M_{nc} > 1.2 \Sigma M_{nb}$	kNm	OK	OK
Gaya Geser Rencana			
M_{pr}	kNm	2210.04	1257.22
l_n	m	3.3	3.3
V_e	kN	1339.42	761.96
V_u SAP2000	kN	133.22	247.39
Penulangan Geser			
$M_{pr} +$	kNm	1007.64	1007.64
$M_{pr} -$	kNm	606.39	606.39

Parameter	Satuan	K1	K2
Ve Balok	kNm	489.10	489.10
Vu	kNm	1339.42	761.96
lo	m	0.9	0.8
s	m	100	100
Ash	m ²	0.173	0.172
Ash	m ²	0.543	0.476
d	m ²	0.8315	0.7315
Senggang pasang		4D16-100	4D16-100
Vc	kN	1520.63	1098.66
Vs	kN	2647.50	2329.10
$\phi(Vc+Vs)$	kN	3126.09	2570.82
Vu	kN	1339.42	761.96
$\phi(Vc+Vs) > Vu$		OK	OK
Senggang di luar lo			
Tulangan Geser		4D16-150	4D16-150
Panjang lewatan			
ldmin	mm	605.76	605.76
ldmin	mm	700	700
		OK	OK

4.4.4 Perencanaan Dinding Geser

Dinding geser (*Shear Wall*) dalam struktur gedung berfungsi untuk menahan gaya geser dan momen – momen yang terjadi akibat gaya lateral. Dinding geser bekerja sebagai sebuah balok kantilever vertikal dan dalam menyediakan tahanan lateral, dinding geser menerima tekuk maupun geser. Dalam struktur bangunan ini dipakai *model section* dinding geser dengan tebal 40 cm. Sebagai

contoh perhitungan, akan direncanakan dinding geser berdasarkan hasil analisis SAP2000 yang mempunyai gaya paling maksimum.



Gambar 4.46 Denah Dinding Geser

Data perencanaan adalah sebagai berikut :

Mutu beton (f'_c)	= 30 MPa
Mutu baja (f_y)	= 400 MPa
Tebal dinding geser	= 40 cm
Bentang <i>shear wall</i>	= 6 m (arah X) dan 4 m (arah Y)
Tinggi <i>shear wall</i>	= 80 m
Tebal selimut beton	= 40 mm

4.4.4.1 Gaya Geser Rencana *Shear Wall*

Dinding geser harus mempunyai tulangan geser horizontal dan vertikal. Sebagai contoh perhitungan, akan direncanakan dinding geser pada lantai 1 (dasar). Dari hasil analisis struktur dengan menggunakan program batu SAP2000 didapatkan kombinasi *envelope* beban maksimum sebagai berikut :

Tabel 4.28 Output Gaya Dalam Dinding Geser (SAP2000)

Kombinasi	Arah X			Arah Y		
	Aksial (kN)	Geser (kN)	Momen (kNm)	Aksial (kN)	Geser (kN)	Momen (kNm)
<i>Envelope</i>	16281,01	3959,54	20790	18301,15	1180,16	55150

4.4.4.2 Kuat Aksial Rencana

Kuat aksial rencana dihitung berdasarkan (SNI 2847:2013 pasal 14.5.2)

$$\phi P_n = 0,55 \phi f'c \cdot A_g \left[1 - \left(\frac{k \cdot l_c}{32h} \right)^2 \right]$$

Di mana:

l_c = panjang kolom

h = tebal dinding geser

k = faktor panjang efektif, di mana $k = 0,8$

- Untuk arah X

P_u = 16281,01 kN

A_g = $400 \times 6000 = 24 \times 10^5 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,55 \times 0,75 \times 30 \times 24 \times 10^5 \left[1 - \left(\frac{0,8 \times 4000}{32 \times 400} \right)^2 \right] \\ &= 27843750 \text{ N} \\ &= 27843,75 \text{ kN} > P_u = 16281,01 \text{ kN (OK)} \end{aligned}$$

- Untuk arah Y

P_u = 18301,15 kN

A_g = $400 \times 4000 = 16 \times 10^5 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,55 \times 0,75 \times 30 \times 16 \times 10^5 \left[1 - \left(\frac{0,8 \times 4000}{32 \times 400} \right)^2 \right] \\ &= 18562500 \text{ N} \\ &= 18562,5 \text{ kN} > P_u = 18301,15 \text{ kN (OK)} \end{aligned}$$

4.4.4.3 Pemeriksaan Tebal Dinding Geser

Tebal dinding dianggap cukup bila dihitung memenuhi (SNI 2847:2013, pasal 11.9.3)

$$\phi V_n = \phi 0,83 \sqrt{f'c} \cdot h \cdot d \geq V_u$$

Di mana:

h = tebal dinding geser

d = 0,8 lw

• Untuk arah X

$V_u = 3959,54 \text{ kN}$

$d = 0,8 \times 6000$

$= 4800 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi 0,83 \sqrt{f'c} \cdot h \cdot d \\ &= 0,75 \times 0,83 \sqrt{30} \times 400 \times 4800 \\ &= 4909785,005 \text{ N} \\ &= 4909,785 \text{ kN} > V_u = 3959,54 \text{ kN (OK)} \end{aligned}$$

• Untuk arah Y

$V_u = 1180,16 \text{ kN}$

$d = 0,8 \times 4000$

$= 3200 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi 0,83 \sqrt{f'c} \cdot h \cdot d \\ &= 0,75 \times 0,83 \sqrt{30} \times 400 \times 3200 \\ &= 3273190,004 \text{ N} \\ &= 3273,19 \text{ kN} > V_u = 1180,16 \text{ kN (OK)} \end{aligned}$$

4.4.4.4 Kuat Geser Beton

Perhitungan kuat geser yang disumbangkan oleh beton dihitung berdasarkan SNI 2847:2013, pasal 11.9.6

$$V_c = 0,27 \lambda \sqrt{f'c} \cdot h \cdot d + \frac{N_u \cdot d}{4lw}$$

• Untuk arah X

$$V_u = 3959,54 \text{ kN}$$

$$N_u = P_u = 16281,01 \text{ kN}$$

$$l_w = 6000 \text{ mm}$$

$$d = 0,8 \times 6000 \\ = 4800 \text{ mm}$$

$$V_c = 0,27\sqrt{30} \times 400 \times 4800 + \frac{16281010 \times 4800}{4 \times 6000} \\ = 5385746,994 \text{ N} \\ = 5385,746 \text{ kN}$$

$$0,5\Phi V_c = 0,5 \times 0,75 \times 5385,746 \\ = 2019,655 \text{ kN} < V_u = 3959,54 \text{ kN}$$

Maka dibutuhkan tulangan geser horizontal, di mana:

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s}$$

$$A_v = \text{luas tulangan horizontal}$$

$$s = \text{jarak tulangan horizontal}$$

• Untuk arah Y

$$V_u = 1180,16 \text{ kN}$$

$$N_u = P_u = 18301,15 \text{ kN}$$

$$l_w = 4000 \text{ mm}$$

$$d = 0,8 \times 4000 \\ = 3200 \text{ mm}$$

$$V_c = 0,27\sqrt{30} \times 400 \times 3200 + \frac{18301150 \times 4800}{4 \times 6000} \\ = 5079926,065 \text{ N} \\ = 5079,926 \text{ kN}$$

$$0,5\Phi V_c = 0,5 \times 0,75 \times 5079,926 \\ = 1904,97 \text{ kN} > V_u = 1180,16 \text{ kN}$$

Maka dibutuhkan tulangan geser horizontal, di mana:

$$\begin{aligned}
 V_n &= V_c + V_s \\
 V_s &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \\
 A_v &= \text{luas tulangan horizontal} \\
 s &= \text{jarak tulangan horizontal}
 \end{aligned}$$

4.4.4.5 Penulangan Geser Dinding Geser

Sedikitnya harus dipakai dua lapis tulangan bila gaya geser di dalam bidang dinding di antara dua komponen batas melebihi $0,17 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \sqrt{f'_c}$, di mana A_{cv} adalah luas bruto yang dibatasi oleh tebal badan dan panjang penampang dinding (SNI 2847:2013 pasal 21.9.2.2).

- Arah X

$$\begin{aligned}
 0,17 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \sqrt{f'_c} &= 0,17 \times (6000 \times 400) \times 1 \times \sqrt{30} \\
 &= 1676031,026 \text{ N} \\
 &= 1676,031 \text{ kN} < 3959,54 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Maka diperlukan minimal dua lapis tulangan

- Arah Y

$$\begin{aligned}
 0,17 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \sqrt{f'_c} &= 0,17 \times (4000 \times 400) \times 1 \times \sqrt{30} \\
 &= 1955369,53 \text{ N} \\
 &= 1955,369 \text{ kN} > 1180,16 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Tidak diperlukan dua lapis tulangan

4.4.4.6 Penulangan Geser Horizontal

Sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.9.9.2 rasio tulangan geser horizontal terhadap luas beton bruto penampang vertikal tidak boleh kurang dari 0,0025.

- Arah X

Spasi tulangan geser horizontal tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

$$a. \quad l_w/5 = 6000/5 = 1200 \text{ mm}$$

b. $3h = 3 \times 400 = 1200 \text{ mm}$

c. 450 mm

Maka dipakai jarak tulangan $s = 250 \text{ mm}$

Dipakai tulangan geser horizontal 2D13-250 mm ($A_s = 258 \text{ mm}^2$)

$$\rho t = \frac{A_s}{h \times s} = \frac{258}{400 \times 250} = 0,00258 > 0,0025 \text{ (OK)}$$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \\ &= \frac{258 \times 400 \times 4800}{250} \\ &= 1585152 \text{ N} \\ &= 1585,152 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_s \\ &= 5385,746 + 1585,152 \\ &= 6970,899 \text{ kN} > V_u = 3959,54 \text{ kN (OK)} \end{aligned}$$

• Arah Y

Spasi tulangan geser horizontal tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

a. $l_w/5 = 4000/5 = 800 \text{ mm}$

b. $3h = 3 \times 400 = 1200 \text{ mm}$

c. 450 mm

Maka dipakai jarak tulangan $s = 250 \text{ mm}$

Dipakai tulangan geser horizontal 2D13-250 mm ($A_s = 258 \text{ mm}^2$)

$$\rho t = \frac{A_s}{h \times s} = \frac{258}{400 \times 250} = 0,00258 > 0,0025 \text{ (OK)}$$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \\ &= \frac{258 \times 400 \times 3200}{250} \\ &= 1320960 \text{ N} \\ &= 1320,96 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_s \\ &= 5079,926 + 1320,96 \end{aligned}$$

$$= 6400,88 \text{ kN} > V_u = 1180,16 \text{ kN (OK)}$$

4.4.4.7 Penulangan Geser Vertikal

Sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.9.9.4 rasio luas tulangan geser vertikal terhadap luas beton bruto penampang vertikal tidak boleh kurang dari yang lebih besar dari:

$$0,0025 + 0,5\left(2,5 - \frac{hw}{lw}\right)(\rho_t - 0,0025) \text{ dan } 0,0025$$

• Arah X

$$0,0025 + 0,5\left(2,5 - \frac{4000}{6000}\right)(0,00258 - 0,0025) = 0,002574$$

Spasi tulangan geser vertikal tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

- a. $lw/5 = 6000/5 = 1200 \text{ mm}$
- b. $3h = 3 \times 400 = 1200 \text{ mm}$
- c. 450 mm

Maka digunakan tulangan geser vertikal 2D13-250 mm ($A_s = 258 \text{ mm}^2$)

$$\rho_l = \frac{A_s}{h \times s} = \frac{258}{400 \times 250} = 0,00258 > 0,002574 \text{ (OK)}$$

• Arah Y

$$0,0025 + 0,5\left(2,5 - \frac{4000}{6000}\right)(0,00258 - 0,0025) = 0,002574$$

Spasi tulangan geser vertikal tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

- a. $lw/5 = 4000/5 = 800 \text{ mm}$
- b. $3h = 3 \times 400 = 1200 \text{ mm}$
- c. 450 mm

Maka digunakan tulangan geser vertikal 2D13-250 mm ($A_s = 258 \text{ mm}^2$)

$$\rho l = \frac{A_s}{h \times s} = \frac{258}{400 \times 250} = 0,00258 > 0,002574 \text{ (OK)}$$

4.5 Perencanaan Sambungan

4.5.1 Umum

Sambungan berfungsi sebagai penyalur gaya-gaya yang dipikul oleh elemen struktur ke elemen struktur yang lainnya. Gaya-gaya tersebut untuk selanjutnya diteruskan ke pondasi. Selain itu desain sambungan dibuat untuk menciptakan kestabilan. Suatu sambungan diharapkan dapat mentransfer beberapa gaya secara bersamaan.

Sambungan pada sistem pracetak merupakan bagian yang sangat penting. Bagian ini berfungsi untuk meneruskan gaya antar setiap elemen pracetak yang disambung. Kelemahan konstruksi sistem pracetak adalah terletak pada sambungan yang relatif kurang kaku atau monolit sehingga lemah dalam menahan beban gempa. Untuk itu sambungan direncanakan supaya memiliki kekakuan seperti beton monolit. Elemen pracetak dengan tuangan beton di atasnya, diharapkan sambungan elemen tersebut memiliki perilaku yang mendekati sama dengan struktur yang monolit. Gaya dapat disalurkan antara komponen struktur dengan menggunakan sambungan *grouting*, sambungan baja tulangan, pelapisan dengan beton bertulang cor setempat atau kombinasi dengan cara-cara tersebut. Sambungan elemen pracetak meliputi sambungan pelat pracetak dengan balok pracetak, sambungan balok induk pracetak dengan dengan balok anak pracetak, sambungan balok pracetak dengan dengan kolom.

Sambungan basah relatif mudah dalam pelaksanaannya jika dibandingkan dengan sambungan kering (*non topping*) seperti *mechanical connection* dan *welding connection* yang cukup rumit. Untuk sambungan basah dalam daerah *joint*, diberikan tulangan yang dihitung berdasarkan panjang penyaluran dan sambungan

lewatan. Selain itu juga dilakukan perhitungan geser friksi yaitu geser beton yang berbeda umurnya antara beton pracetak dengan beton *topping*. Di dalam pelaksanaan biasanya dipakai stud tulangan (*shear connector*) yang berfungsi sebagai penahan geser dan sebagai pengikat antara pelat pracetak dan pelat *topping* agar pelat bersifat secara monolit dalam satu kesatuan integritas struktur.

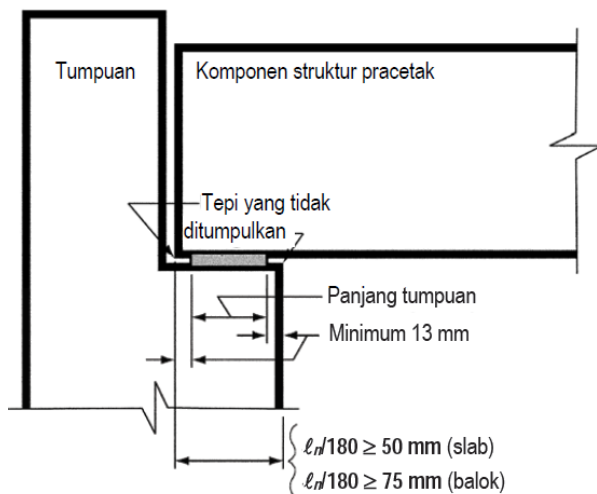
Dalam pelaksanaan kontruksi beton pracetak, sebuah sambungan yang baik selalu ditinjau dari segi praktis dan ekonomis. Selain itu perlu juga ditinjau *serviceability*, kekuatan, dan produksi. Faktor kekuatan khususnya harus dipenuhi oleh suatu sambungan karena sambungan harus mampu menahan gaya-gaya yang dihasilkan oleh beberapa macam beban. Beban-beban tersebut dapat berupa beban mati, beban hidup, beban gempa dan kombinasi dari beban-beban tersebut.

Sambungan antar elemen beton pracetak tersebut harus mempunyai cukup kekuatan, kekakuan dan dapat memberikan kebutuhan daktilitas yang disyaratkan. Baik sambungan cor setempat maupun sambungan *grouting* sudah banyak dipergunakan sebagai salah satu pemecahan masalah dalam mendesain konstruksi pracetak yang setara dengan konstruksi cor setempat (*cast in situ*).

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 16.6.2.2, adalah

- $D = 1/180 L_n$
- Untuk slab masif atau inti berongga (*hollow-core*) 50 mm
- Untuk balok atau komponen struktur bertangkai (*stemmed*) 75 mm

Di mana L_n = bentang bersih elemen pracetak

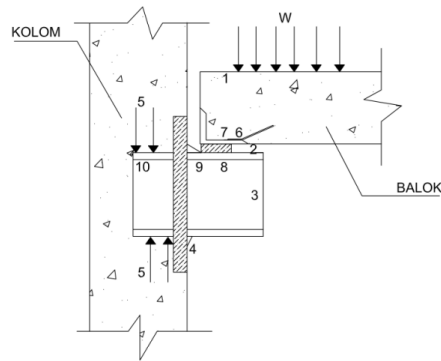


Gambar 4.47 Panjang Tumpuan Minimum

4.5.2 Konsep Desain Sambungan

4.5.2.1 Mekanisme Pemindahan Beban

Tujuan dari sambungan adalah memindahkan beban dari satu elemen pracetak ke elemen lainnya atau sebaliknya. Pada setiap sambungan, beban akan ditransfer melalui elemen sambungan dengan mekanisme yang bermacam-macam. Untuk menjelaskan mekanisme pemindahan beban, diambil contoh seperti gambar 4.48 di mana pemindahan beban diteruskan ke kolom dengan melalui tahap sebagai berikut:



Gambar 4.48 Mekanisme Pemindahan Beton

1. Beban diserap pelat dan ditransfer ke perletakan dengan kekuatan geser
2. Perletakan ke *haunch* melalui gaya tekan *pads*
3. *Haunch* menyerap gaya vertikal dari perletakan dengan kekuatan geser dan lentur dari profil baja.
4. Gaya geser vertikal dan lentur diteruskan ke pelat baja melalui titik las.
5. Kolom beton memberikan reaksi terhadap profil baja yang tertanam.

Mekanisme pemindahan gaya tarik akibat susut, dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Balok beton ke tulangan dengan lekatan / ikatan.
2. Tulangan baja siku di ujung balok diikat dengan las.
3. Baja siku di ujung balok ke *haunch* melalui gesekan di atas dan di bawah *bearing pads*. Sebagian gaya akibat perubahan volume dikurangi dengan adanya deformasi pada *pads*.
4. Sebagian kecil dari gaya akibat perubahan volume dipindahkan melalui las ke pelat baja.
5. Gaya tersebut ditahan oleh perletakan dan diteruskan oleh *stud* ke kolom beton melalui ikatan / lekatan.

4.5.2.2 Klasifikasi Sistem dan Sambungannya

Sistem pracetak didefinisikan dalam dua kategori yaitu lokasi penyambungan dan jenis alat penyambungan :

a. Lokasi penyambungan

Portal daktail dapat dibagi sesuai dengan letak penyambung dan lokasi yang diharapkan terjadi pelelehan atau tempat sendi daktailnya. Simbol-simbol di bawah ini digunakan untuk mengidentifikasi perilaku dan karakteristik pelaksanaannya.

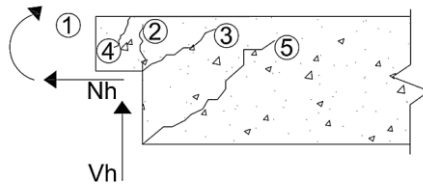
- *Strong*, sambungan elemen-elemen pracetak yang kuat dan tidak akan leleh akibat gempa-gempa yang besar.
- *Sendi*, sambungan elemen-elemen pracetak bila dilihat dari momen akibat beban lateral gempa dapat bersifat sebagai sendi.
- *Daktail*, sambungan elemen-elemen pracetak yang daktail dan berfungsi sebagai pemencar energi.
- Lokasi sendi plastis

b. Jenis alat penyambung

- *Shell pracetak* dengan bagian intinya di cor beton setempat
- *Cold joint* yang diberi tulangan biasa
- *Cold joint* yang diberi tulangan pracetak parsial, di mana bagian *joint* di-*grout*.
- *Cold joint* yang diberi tulangan pracetak parsial, di mana bagian *joint* tidak di-*grout*.
- Sambungan-sambungan mekanik

4.5.2.3 Pola – Pola Kehancuran

Sebagian perencanaan diharuskan untuk menguji masing masing pola-pola kehancuran. Pada dasarnya pola kehancuran kritis pada sambungan sederhana akan tampak nyata. Sebagai contoh pada kehancuran untuk sambungan sederhana dapat dilihat pada gambar 4.49

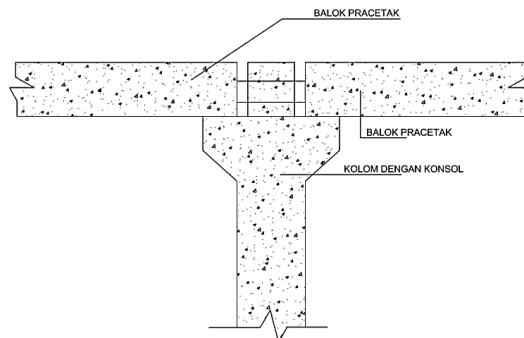


Gambar 4.49 Model Keruntuhan

PCI Design Handbook memberikan 5 pola kehancuran yang harus diselidiki pada waktu perencanaan *dapped-end* dari balok yaitu sebagai berikut

- 1) Lentur dan gaya tarik aksial pada ujung
- 2) Tarik diagonal yang berasal dari sudut ujung
- 3) Geser langsung antar tonjolan dengan bagian utama balok
- 4) Tarik diagonal pada ujung akhir
- 5) Perletakan pada ujung atau tonjolan

Pada tugas akhir ini direncanakan sistem balok pracetak yang mampu menumpu pada kolom dengan bantuan konsol pendek pada saat proses pencapaian penyambungan sebelum komposit sehingga mencapai kekuatan yang benar-benar monolit (menyatu dan berkesinambungan). Berikut disajikan permodelannya dalam gambar 4.50 berikut ini :



Gambar 4.50 Model Sambungan Balok pada Konsol Kolom

4.5.3 Penggunaan Topping Beton

Penggunaan *topping* beton komposit disebabkan karena berbagai pertimbangan. Tujuan utamanya adalah :

- 1) Untuk menjamin agar lantai beton pracetak dapat bekerja sebagai satu kesatuan diafragma horizontal yang cukup kaku.
- 2) Agar penyebaran atau distribusi beban hidup vertikal antar komponen pracetak lebih merata.
- 3) Meratakan permukaan beton karena adanya perbedaan penurunan atau *camber* mereduksi kebocoran air.

Tebal *topping* umumnya berkisar antara 50 mm sampai 100 mm. Pemindahan sepenuhnya gaya geser akibat beban lateral pada komponen struktur komposit tersebut akan bekerja dengan baik selama tegangan geser horizontal yang timbul tidak melampaui 5,50 kg/cm². Bila tegangan geser tersebut dilampaui, maka *topping* beton tidak boleh dianggap sebagai struktur komposit, melainkan harus dianggap sebagai beban mati yang bekerja pada komponen beton pracetak tersebut. Kebutuhan baja tulangan pada *topping* dalam menampung gaya geser horizontal tersebut dapat direncanakan dengan menggunakan geser friksi (*shear friction concept*).

$$A_{vf} = \frac{V_n}{f_y \times \mu} \geq A_{vf \min}$$

Di mana:

A_{vf} = luas tulangan geser friksi

V_n = luas geser nominal $< 0,2 f_c A_c$ (Newton)

$< 5,5 A_c$ (Newton)

A_c = luas penampang beton yang memikul penyaluran geser

f_y = kuat leleh tulangan

μ = koefisien friksi (1)

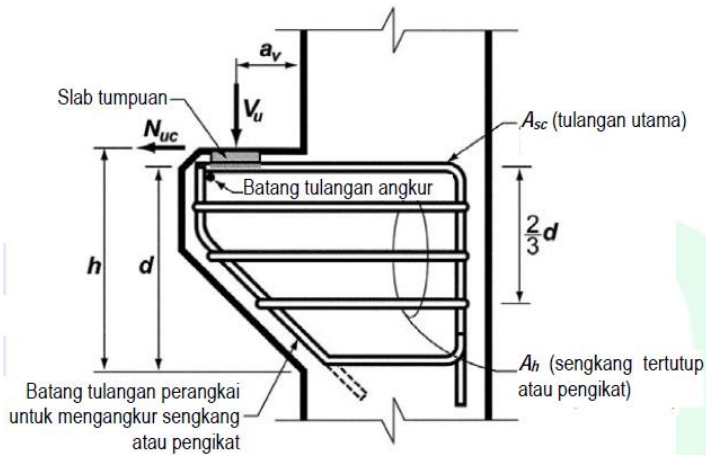
$A_{vf \min} = 0,018 A_c$ untuk baja tulangan mutu $f_y < 400$ MPa

= 0,018 x 400/ f_y untuk tulangan $f_y > 400$ MPa diukur pada tegangan leleh 0,35% dalam segala hal tidak boleh kurang dari 0,0014 A_c

4.5.4 Perencanaan Sambungan Balok dan Kolom

4.5.4.1 Perencanaan Konsol pada Kolom

Pada perencanaan sambungan antara balok induk dan kolom dipergunakan sambungan dengan menggunakan konsol pendek. Balok induk diletakkan pada konsol yang berada pada kolom yang kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pada kolom tersebut mengikuti persyaratan yang diatur dalam SNI 2847:2013 Pasal 11.8 mengenai konsol pendek. Bentuk konsol pendek yang dipakai dapat dilihat pada Gambar 4.51 berikut ini:



Gambar 4.51 Detail Konsol Pendek

Ketentuan SNI 2847:2013 pasal 11.8 tentang perencanaan konsol pendek yang diatur sebagai berikut:

1. Perencanaan konsol pendek dengan rasio bentang geser terhadap tinggi a_v/d tidak lebih besar dari satu, dan dikenai gaya tarik horizontal terfaktor, N_{uc} , tidak lebih besar daripada V_u . Tinggi efektif d harus ditentukan di muka tumpuan
2. Tinggi di tepi luar luas tumpuan tidak boleh kurang dari $0,5d$

3. Penampang di muka tumpuan harus didesain untuk menahan secara bersamaan V_u suatu momen terfaktor $V_{ua} + N_{uc}(h-d)$, dan gaya tarik horizontal terfaktor, N_{uc}
 - 1) Dalam semua perhitungan desain yang sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8, ϕ harus diambil sama dengan 0,75
 - 2) Desain tulangan geser-friksi A_{vf} untuk menahan V_u harus sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.6:
 - a) Untuk beton berat normal, V_n tidak boleh melebihi yang terkecil dari $0,2 \times f'_c \times b_w \times d$, $(3,3 + 0,08f'_c) b_w d$, dan $11 b_w d$.
 - b) Untuk beton ringan atau ringan pasir, V_n tidak boleh diambil lebih besar dari yang lebih kecil dari $(0,2 - 0,07 \frac{a}{d}) f'_c b_w d$ dan $(5,5 - 1,9 \frac{a}{d}) b_w d$
 - c) Tulangan A_f untuk menahan terfaktor $[V_u a_v + N_{uc}(h - d)]$ harus dihitung menurut SNI 2847:2013 pasal 10.2 dan pasal 10.3
 - d) Tulangan A_n untuk menahan gaya tarik terfaktor N_{uc} harus ditentukan dari $\phi A_n f_y \geq N_{uc}$. Gaya tarik terfaktor, N_{uc} tidak boleh diambil kurang dari $0,2V_u$ kecuali bila ketentuan dibuat untuk menghindari gaya tarik. N_{uc} harus dianggap sebagai beban hidup bahkan bilamana tarik yang dihasilkan dari kekangan rangkang, susut, atau perubahan suhu.
 - e) Luas tulangan Tarik utama A_{sc} tidak boleh kurang dari yang lebih besar dari $(A_f + A_n)$ dan $(\frac{2A_{vf}}{3} + A_n)$
4. Luas total A_h , sengkang tertutup atau pengikat paralel terhadap tulangan tarik utama tidak boleh kurang dari $0,5(A_{sc} - A_n)$, Distribusikan A_h secara merata dalam $(2/3)d$ bersebelahan dengan tulangan tarik utama
5. $\frac{A_{sc}}{b d}$ tidak boleh kurang dari $0,04 \frac{f'_c}{f_y}$
6. Pada muka depan konsol pendek, tulangan tarik utama A_s harus diangkur dengan salah satu dari berikut:

- 1) Dengan las struktur pada batang tulangan transversal dengan sedikit berukuran sama; las didesain untuk mengembangkan f_y tulangan tarik utama;
 - 2) Dengan pembengkokan tulangan tarik utama menjadi bentuk tertutup horizontal; atau
 - 3) Dengan suatu cara pengangkurkan baik lainnya
7. Luas tumpuan pada konsol pendek tidak boleh menonjol melampaui bagian lurus batang tulangan tarik utama A_s , ataupun menonjol melampaui muka dalam dari batang tulangan angkur transversal (bila batang tulangan tersebut disediakan).

4.5.4.2 Perhitungan Konsol pada Kolom

a. Data Perencanaan

V_u output analisis dengan *software* SAP2000 = 609321,7 N

Dimensi Balok = 50/70

Dimensi konsol :

b_w = 500 mm

h = 400 mm

d = $400 - 40 - 25 = 335$ mm

f'_c = 30 MPa

f_y = 400 MPa

a = 250 mm

Ketentuan yang digunakan dalam perencanaan konsol pendek sesuai dengan SNI 2847-2013 Pasal 11.8. Untuk dapat menggunakan SNI 2847-2013 Pasal 11.8, maka geometri konsol pendek serta gaya yang terjadi pada konsol pendek tersebut harus sesuai dengan yang diisyaratkan oleh SNI 2847:2013 Pasal 11.8.1. Syarat tersebut adalah sebagai berikut:

- $a/d = 250 / 335 = 0,747 < 1$ (OK)

- $N_{uc} \leq V_u$

$$N_{uc} = 0,2 \times 609321,7 = 121864,3 \text{ N}$$

Sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.1, syarat nilai kuat geser

V_n untuk beton normal adalah:

$$\begin{aligned}
 V_n &= \frac{Vu}{\phi} = \frac{609321,7}{0,75} \\
 &= 812429 \text{ N}
 \end{aligned}$$

b. Menentukan Luas Tulangan Geser Friksi

Sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 11.8.3.2 (a), untuk beton normal, kuat geser V_n tidak boleh diambil lebih besar daripada:

$$\begin{aligned}
 0,2 \times f'c \times bw \times d &= 0,2 \times 30 \times 500 \times 335 \\
 &= 1005000 \text{ N} \geq V_n \\
 (3,3 + 0,08 \times f'c)bw \times d &= (3,3 + 0,08 \times 30)500 \times 335 \\
 &= 954750 \text{ N} \geq V_n \\
 11 \times bw \times d &= 11 \times 500 \times 335 \\
 &= 1842500 \text{ N} \geq V_n
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mu &= 1,4 \\
 Avf &= \frac{V_n}{f_y \times \mu} = \frac{812429}{400 \times 1,4} \\
 &= 1450,766 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

c. Luas Tulangan Lentur

Perletakan yang akan digunakan dalam konsol pendek ini adalah sendi-rol yang mengizinkan adanya deformasi arah lateral ataupun horizontal, maka gaya horizontal akibat susut jangka panjang dan deformasi rangka balok tidak boleh terjadi. Maka sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.4, akan digunakan Nuc minimum.

$$\begin{aligned}
 Mu &= Vu \times a + Nuc(h - d) \\
 &= 609321,7 \times 250 + 121864,3(400 - 335) \\
 &= 160251619,1 \text{ Nmm} \\
 m &= \frac{fy}{0,85 \times f'c} = \frac{400}{0,85 \times 30} \\
 &= 15,69
 \end{aligned}$$

$$Rn = \frac{Mu}{0,75 \times bw \times d^2} = \frac{160251619,1}{0,75 \times 500 \times 335^2} = 3,81$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{fy}} \right) = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 3,81}{400}} \right) = 0,0104 \geq \rho_{min} = 0,0035$$

$$\rho = 0,0104$$

$$Af1 = \frac{Mu}{0,85 \times \phi \times fy \times d} = \frac{160251619,1}{0,85 \times 0,75 \times 400 \times 335} = 1875,934 \text{ mm}^2$$

$$Af2 = \rho \times bw \times d = 0,0104 \times 500 \times 335 = 1735,6 \text{ mm}^2$$

$$Af = 1875,934 \text{ mm}^2$$

Tulangan pokok As:

$$An = \frac{Nuc}{\phi \times fy} = \frac{121864,3}{0,75 \times 400} = 406,22 \text{ mm}^2$$

d. Pemilihan tulangan yang digunakan

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.5

$$Asc = Af + An = 1875,934 + 406,22 = 2282,15 \text{ mm}^2$$

$$Asc = \left(\frac{2 \times Avf}{3} + An \right) = \left(\frac{2 \times 1450,766}{3} + 406,22 \right) = 1373,39$$

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.5

$$Ascmin = 0,04 \left(\frac{f'c}{fy} \right) bw \times d = 0,04 \left(\frac{30}{400} \right) 500 \times 335 = 502,5$$

$$Asc = 2282,15 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.4

$$Ah = 0,5(As - An) = 0,5(2282,15 - 406,22)$$

$$= 937,97 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai tulangan 5D25 ($A_s = 2550 \text{ mm}^2$). Dan dipasang sengkang $4\Phi 13$, dipasang di sepanjang $(2/3)d = (2/3)335 = 233,33 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$

e. Luas Pelat Landasan

$$\begin{aligned} V_u &= \phi \times 0,85 \times f'_c \times A_l \\ A_l &= \frac{V_u}{\phi \times 0,85 \times f'_c} = \frac{609321,7}{0,75 \times 0,85 \times 30} \\ &= 31859,961 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka dipakai pelat landasan $200 \times 300 \text{ mm}^2$ (60000 mm^2) dengan tebal 15 mm.

4.5.4.3 Perhitungan Sambungan Balok dengan Kolom

Sistem sambungan antara balok dengan kolom pada perencanaan memanfaatkan panjang penyaluran dengan tulangan balok, terutama tulangan pada bagian bawah yang nantinya akan dijangkarkan atau dikaitkan ke atas.

Panjang penyaluran diasumsikan menerima tekan dan juga menerima tarik, sehingga dalam perencanaan dihitung dalam dua kondisi, yaitu kondisi tarik dan kondisi tekan.

$$db = 25 \text{ mm}$$

$$A_{sperlu} = 2282,15 \text{ mm}^2$$

$$A_{spasang} = 2550 \text{ mm}^2$$

a. Panjang Penyaluran Tulangan dalam Tekan

$$\begin{aligned} ldc &= 0,24 \times \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \times db \\ &= 0,24 \times \frac{400}{\sqrt{30}} \times 25 \\ &= 438,18 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ldc &= 0,043 \times f_y \times db = 0,043 \times 400 \times 25 \\ &= 430 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$ldmin = 438,18 \text{ mm}$$

$$l_d = 440 \text{ mm}$$

b. Panjang Penyaluran Tulangan dalam Tarik

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 12.5.1, maka :

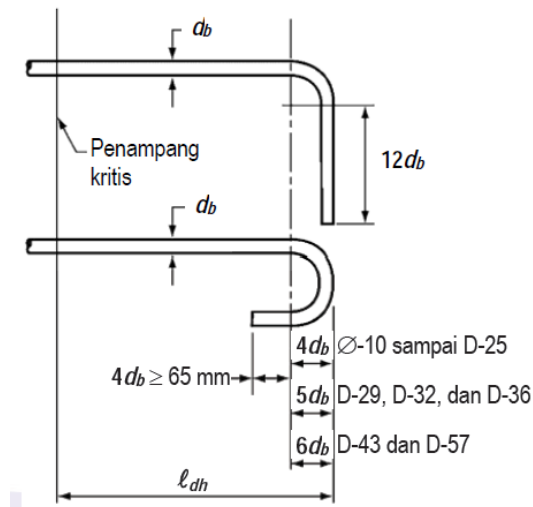
$$l_{dh} \geq 8d_b = 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$$

$$l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$$

$$l_{dh} \geq 0,24 \times \psi_e \times f_y \times \frac{d_b}{\sqrt{f'_c}}$$

$$\geq 0,24 \times 1 \times 400 \times \frac{25}{\sqrt{30}} = 438,18 \text{ mm}$$

Maka dipakai $l_{dh} = 440 \text{ mm}$ dengan bengkokan minimum panjang penyaluran yang masuk ke dalam kolom dengan panjang kait standar 90° sebesar $12d_b = 12 \times 25 = 300 \text{ mm}$



Gambar 4.52 Detail Penyaluran Tulangan

4.5.5 Perencanaan Sambungan Balok Induk dan Balok Anak

Pada perencanaan sambungan antara balok induk dan balok anak digunakan sambungan dengan konsol pendek. Balok anak

diletakkan pada konsol yang berada pada balok induk yang kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pada balok induk tersebut mengikuti persyaratan yang diatur dalam SNI 2847:2013 pasal 11.8 mengenai konsol pendek.

4.5.5.1 Perencanaan Konsol pada Balok Induk

Dari analisis struktur sekunder didapatkan:

$$V_u = 85954,38 \text{ N}$$

Data Perencanaan:

Dimensi balok anak 30/50

Dimensi konsol:

$$b_w = 300 \text{ mm}$$

$$h = 185 \text{ mm}$$

$$c_c = 40 \text{ mm}$$

$$d = 185 - 40 - 22$$

$$= 143 \text{ mm}$$

$$f'_c = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$a = 125 \text{ mm}$$

$$\frac{a}{d} = \frac{125}{153}$$

$$= 0,88 \geq 1 \text{ (OK)}$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{85954,38}{0,75}$$

$$= 114605,84 \text{ N}$$

Sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.2 (a), syarat nilai kuat geser V_n untuk beton normal adalah:

$$0,2 \times f'_c \times b_w \times d = 0,2 \times 30 \times 300 \times 143$$

$$= 257400 \text{ N} \geq V_n$$

$$(3,3 + 0,08 \cdot f'_c) b_w \cdot d = (3,3 + 0,08 \times 30) \times 300 \times 143$$

$$= 244530 \text{ N} \geq V_n$$

$$11 \times b_w \times d = 11 \times 300 \times 143$$

$$= 471900 \text{ N} \geq V_n$$

Luas Tulangan Geser Friksi:

Hubungan konsol dengan kolom monolit, beton normal maka nilai koefisien geser $\mu = 1,4$

$$\begin{aligned} Avf &= \frac{V_n}{f_y \cdot \mu} = \frac{114605,84}{400 \times 1,4} \\ &= 204,66 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas Tulangan Lentur:

Perletakan yang digunakan dalam konsol pendek ini adalah sendi-rol yang mengizinkan adanya deformasi arah lateral ataupun horizontal, maka gaya horizontal akibat susut jangka panjang dan deformasi rangka balok tidak boleh terjadi. Maka sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.4, akan digunakan N_{uc} minimum.

$$\begin{aligned} N_{uc} &= 0,2 \times V_u = 0,2 \times 85954,38 \\ &= 17190,88 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &= V_u \cdot a + N_{uc}(h - d) \\ &= 85954,38 \times 125 + 17190,88(185 - 143) \\ &= 11466314,15 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 30} \\ &= 15,69 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u}{0,75 \times b_w \times d} = \frac{11466314,15}{0,75 \times 300 \times 143} \\ &= 2,492 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 2,492}{400}} \right) \\ &= 0,0066 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} \\ &= 0,0035 \end{aligned}$$

$$\rho = 0,0066$$

$$\begin{aligned}
 Af1 &= \frac{Mu}{0,85 \times \phi \times f_y \times d} = \frac{11466314,15}{0,85 \times 0,75 \times 400 \times 143} \\
 &= 314,45 \text{ mm}^2 \\
 Af2 &= \rho \times bw \times d = 0,0066 \times 300 \times 143 \\
 &= 281,8 \text{ mm}^2 \\
 Af &= 314,45 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan Pokok As:

$$\begin{aligned}
 An &= \frac{Nuc}{\phi \times f_y} = \frac{17190,88}{0,75 \times 400} \\
 &= 57,31 \text{ mm}^2 \\
 Asc &= Af + An = 314,45 + 57,31 \\
 &= 371,75 \text{ mm}^2 \text{ (kritis)} \\
 Asc &= \frac{2 \times Avf}{3} + An = \frac{2 \times 204,66}{3} + 57,31 \\
 &= 193,74 \text{ mm}^2 \\
 Ascmin &= 0,04 \left(\frac{f'_c}{f_y} \right) \times bw \times d = 0,04 \left(\frac{30}{400} \right) \times 300 \times 143 \\
 &= 128,7 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan utama 2D22 (As = 774 mm²)

$$\begin{aligned}
 Ah &= 0,5(Asc - An) = 0,5(371,75 - 57,31) \\
 &= 157,23 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Maka digunakan sengkang 2 ϕ 10 (Av = 314,16 mm²), di sepanjang

$$\frac{2}{3}d = \frac{2}{3}143 = 95,33 \approx 100 \text{ mm}$$

Luas Pelat Landasan:

$$\begin{aligned}
 Vu &= \phi 0,85 \times f'_c \times Al \\
 Al &= \frac{Vu}{\phi \times 0,85 \times f'_c} = \frac{85954,38}{0,75 \times 0,85 \times 30} \\
 &= 4495,35 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Maka dipakai pelat landasan 150 × 150 (Al = 22500 mm²) dengan tebal 15 mm.

4.5.5.2 Perhitungan Sambungan Balok Induk dan Balok Anak

Sistem sambungan antara balok induk dengan balok anak pada perencanaan ini memanfaatkan panjang penyaluran dengan tulangan balok. Panjang penyaluran diasumsikan menerima tekan dan juga menerima tarik, sehingga dalam perencanaan dihitung dalam dua kondisi, yaitu kondisi tarik dan kondisi tekan.

$$db = 22 \text{ mm}$$

a. Panjang Penyaluran Tekan

$$ldc \geq \frac{0,24fy}{\sqrt{f'c}} \times db = 0,24 \times \frac{400}{\sqrt{30}} 22 = 385,6 \text{ mm}$$

$$ldc \geq 0,043fy \times db = 0,043 \times 400 \times 22 = 378,4 \text{ mm}$$

$$ld = 385,6 \text{ mm}$$

$$\approx 390 \text{ mm}$$

Maka dipakai $ld = 390 \text{ mm}$

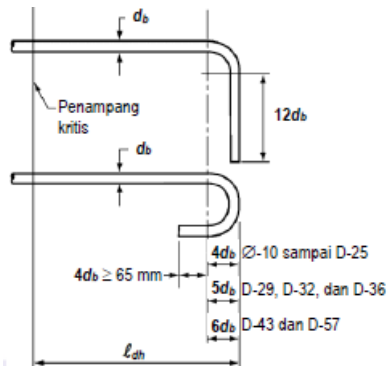
b. Panjang Penyaluran Tarik

$$ldh \geq 8db = 8 \times 22 = 176 \text{ mm}$$

$$ldh \geq 150 \text{ mm}$$

$$ldh \geq \frac{(0,24 \times \psi_e \times fy)}{\sqrt{30}} db = \frac{(0,24 \times 1 \times 400)}{\sqrt{30}} 22 = 385,6 \text{ mm}$$

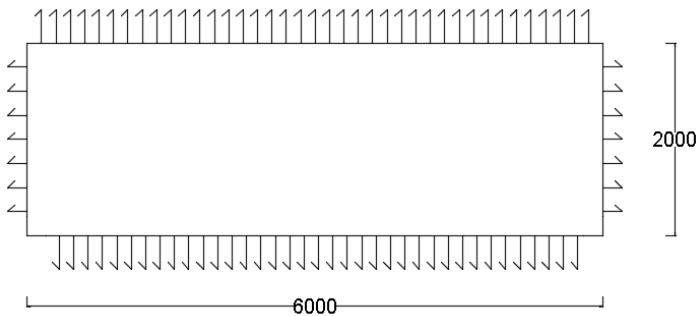
Maka dipakai $ldh = 390 \text{ mm}$ dengan panjang tekukan $4db = 4 \times 22 = 88 \text{ mm} \approx 90 \text{ mm}$



Gambar 4.53 Detail Penyaluran

4.5.6 Perencanaan Sambungan Pelat dan Balok

Sambungan antara balok dengan pelat mengandalkan adanya tulangan tumpuan yang dipasang memanjang melintas tegak lurus di atas balok (menghubungkan stud – stud pelat). Selanjutnya pelat pracetak yang sudah dihubungkan stud-studnya tersebut diberi overtopping dengan cor setempat.



Gambar 4.54 Penyaluran Tulangan Pelat

4.5.6.1 Panjang Penyaluran Tulangan Pelat Tipe P1

Berdasarkan perhitungan pada bab sebelumnya, didapatkan hasil penulangan pada pelat tipe P1A sebagai berikut:

$$db = 10 \text{ mm}$$

Arah X

$$\text{Asperlu} = 437,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Aspasang} = 471,24 \text{ mm}^2$$

Arah Y

$$\text{Asperlu} = 250 \text{ mm}^2$$

$$\text{Aspasang} = 314,16 \text{ mm}^2$$

a. Penyaluran Arah X

Kondisi Tarik

Menurut SNI 2847:2013 12.2

$$ld \geq 300 \text{ mm}$$

$$\psi_t = 1$$

$$\psi_e = 1$$

$$\begin{aligned} \frac{ld}{db} &= \frac{f_y \times \psi_t \times \psi_e}{2,1 \times \sqrt{f'_c}} \\ &= \frac{f_y \times \psi_t \times \psi_e \times db}{2,1 \times \sqrt{f'_c}} = \frac{400 \times 1 \times 1 \times 10}{2,1 \times \sqrt{30}} \\ &= 347,77 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan panjang penyaluran 350 mm

Kondisi Tekan

Menurut SNI 2847:2013 12.3

$$ld \geq 200 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} ld &\geq 0,043 \times db \times f_y = 0,043 \times 10 \times 400 \\ &\geq 172 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ldb &= \frac{db \times f_y}{4 \times \sqrt{f'_c}} = \frac{10 \times 400}{4 \times \sqrt{30}} \\ &= 182,58 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ld &= ldb \times \frac{Aspertu}{Aspasang} = 182,58 \times \frac{437,5}{471,24} \\
 &= 169,51 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipasang panjang penyaluran 200 mm

b. Penyaluran Arah Y

Kondisi Tarik

Menurut SNI 2847:2013 12.2

$$\begin{aligned}
 ld &\geq 300 \text{ mm} \\
 \psi t &= 1 \\
 \psi e &= 1 \\
 \frac{ld}{db} &= \frac{f_y \times \psi t \times \psi e}{2,1 \times \sqrt{f'c}} \\
 &= \frac{f_y \times \psi t \times \psi e \times db}{2,1 \times \sqrt{f'c}} = \frac{400 \times 1 \times 1 \times 10}{2,1 \times \sqrt{30}} \\
 &= 347,77 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka digunakan panjang penyaluran 350 mm

Kondisi Tekan

Menurut SNI 2847:2013 12.3

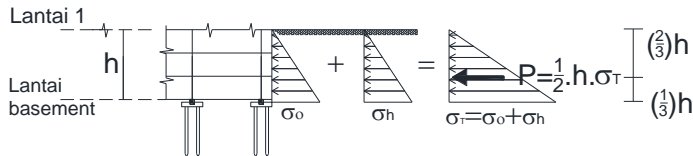
$$\begin{aligned}
 ld &\geq 200 \text{ mm} \\
 ld &\geq 0,043 \times db \times f_y = 0,043 \times 10 \times 400 \\
 &\geq 172 \text{ mm} \\
 ldb &= \frac{db \times f_y}{4 \times \sqrt{f'c}} = \frac{10 \times 400}{4 \times \sqrt{30}} \\
 &= 182,58 \text{ mm} \\
 ld &= ldb \times \frac{Aspertu}{Aspasang} = 182,58 \times \frac{250}{314,16} \\
 &= 145,29 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipasang panjang penyaluran 200 mm

4.6 Perencanaan Dinding Basement

Perencanaan *basement* menggunakan dinding geser yang juga difungsikan sebagai penahan tanah. Tinggi *basement* yang direncanakan memiliki ketinggian 4 m.

4.6.1 Penulangan Dinding Basement



Gambar 4.55 Diagram Tegangan yang Terjadi pada Dinding Basement

Data perencanaan basement adalah sebagai berikut:

Mutu beton (f'_c)	= 30 MPa
Mutu baja (f_y)	= 400 MPa
Tebal dinding <i>basement</i> (t)	= 400 mm
Diameter tulangan	= 25 mm
Tinggi dinding <i>basement</i>	= 4 m
Tebal selimut beton	= 40 mm
d	$= 400 - 40 - 25 - \frac{25}{2}$
	= 322,5 mm

Dari hasil analisis perhitungan tekanan tanah horizontal didapat:

$$\begin{aligned}
 Mu &= 264430000 \text{ Nmm} \\
 Mn &= \frac{Mu}{\phi} = \frac{264430000}{0,9} \\
 &= 293807870 \text{ Nmm} \\
 Rn &= \frac{Mn}{bd^2} = \frac{293807870}{1000 \times 322,5^2} \\
 &= 2,83 \\
 m &= \frac{f_y}{0,85f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 30} \\
 &= 15,69
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}} \right) = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 2,83}{400}} \right) \\
 &= 0,007504 \\
 \rho_{min} &= \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{400} \\
 &= 0,0035 \\
 \rho &= 0,007504 \\
 As &= \rho \times bw \times d = 0,007504 \times 1000 \times 322,5 \\
 &= 2420,008 \text{ mm}^2 \\
 AD25 &= 510 \text{ mm}^2 \\
 n &= \frac{As}{AD22} = \frac{2420,008}{510} \\
 &= 4,7451 \approx 5 \\
 s &= \frac{1000}{n} = \frac{1000}{5} = 200 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan D25-200

- **Kontrol Ketebala Minimum Dinding Basement**

Menurut SNI 2847:2013 pasal 14.5.3.2 yang menyatakan bahwa tebal dinding *basement* eksterior dan dinding pondasi tidak boleh kurang dari 190 mm.

Dinding basement yang dipakai 400 mm.

- **Kontrol Rasio Tulangan**

Menurut SNI 2847:2013 pasal 14.3.3 menyatakan bahwa rasio minimum luas tulangan horizontal terhadap luas beton bruto, ρ_t , harus 0,0025.

$$\frac{As}{bw \times d} = \frac{5 \times 510}{1000 \times 400} = 0,00791 \geq 0,0025 \text{ (OK)}$$

4.7 Perencanaan Pondasi

4.7.1 Umum

Pada umumnya pondasi merupakan komponen struktur pendukung bangunan yang terletak di bagian terbawah dan berfungsi sebagai elemen terakhir yang meneruskan beban ke tanah. Dalam perencanaannya, pondasi terdiri dari dua jenis, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal dipakai untuk struktur dengan beban yang relatif kecil, sedangkan untuk pondasi dalam dipakai untuk struktur dengan beban yang relatif besar seperti pada gedung yang berlantai banyak.

Pondasi pada gedung ini direncanakan memakai pondasi tiang pancang jenis *Spun Pile* produk dari Industrial Concrete Products SDN BHD. Pada bab perencanaan pondasi pembahasan meliputi perencanaan jumlah tiang pancang yang dibutuhkan, perencanaan poer (*pile cap*) dan perencanaan sloof (*tie beam*).

4.7.2 Data Tanah

Sebelum merencanakan pondasi yang akan digunakan, perlu dilakukan penyelidikan tanah yang berfungsi untuk mengetahui jenis dari tanah tersebut sehingga dapat dilakukan perencanaan pondasi yang sesuai dengan jenis dan kemampuan daya dukung tanah. Perencanaan pondasi pada gedung ini sesuai dengan penyelidikan tanah di lapangan. Adapun data tanah yang telah tersedia di lapangan meliputi data penyelidikan tanah hasil SPT.

Data tanah yang digunakan untuk perencanaan pondasi gedung ini adalah data tanah pembangunan gedung di Jakarta, hasil Uji Tanah PT Frankpile Indonesia..

4.7.3 Spesifikasi Tiang Pancang

Pada perencanaan pondasi gedung ini, digunakan pondasi tiang pancang jenis *Spun Pile* Produk dari Industrial Concrete Products SDN BHD.

1. Tiang pancang beton pracetak (*precast concrete pile*) dengan bentuk penampang bulat.
2. Mutu beton tiang pancang Grade 80 pile (*concrete cube compressive strength is 80 N/mm² at 28 days*).

Berikut ini, spesifikasi tiang pancang yang akan digunakan :

- *Diameter outside (D)* : 600 mm
- *Thickness* : 100 mm
- *Bending momen crack* : 196,4 kNm
- *Bending momen ultimate* : 365 kNm
- *Allowable axial* : 292 ton

4.7.4 Daya Dukung

4.7.4.1 Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal

Daya dukung pada pondasi tiang pancang ditentukan oleh dua hal, yaitu daya dukung perlawanan tanah dari unsur dasar tiang pondasi (Q_p) dan daya dukung tanah dari unsur lekatan lateral tanah (Q_r). Sehingga daya dukung total dari tanah dapat dirumuskan :

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

Di samping peninjauan berdasarkan kekuatan tanah tempat pondasi tiang pancang ditanam, daya dukung suatu tiang juga harus ditinjau berdasarkan kekuatan bahan tiang pancang tersebut.

Hasil daya dukung yang menentukan yang dipakai sebagai daya dukung izin tiang. Perhitungan daya dukung dapat ditinjau dari dua keadaan, yaitu daya dukung tiang pancang tunggal yang berdiri sendiri dan daya dukung tiang pancang dalam kelompok. Perhitungan daya dukung tiang pancang ini dilakukan berdasarkan hasil uji *SPT* menurut Luciano Decourt.

$$Q_L = Q_p + Q_s$$

Di mana :

Q_L = Daya dukung tanah maksimum pada pondasi

Q_P = *Resistance ultimate* di dasar pondasi

QS = *Resistance ultimate* akibat lekatan lateral

Qp = $q_p \cdot A_p = (N_p \cdot K) \cdot A_p$

Di mana :

A_p = Luas penampang ujung tiang

N_p = Harga rata-rata SPT 4B di atas dasar pondasi dan 4B di bawah dasar pondasi.

K = Koefisien karakteristik tanah

$12 \text{ t/m}^2 = 117,7 \text{ kPa}$, (untuk lempung)

$20 \text{ t/m}^2 = 196 \text{ kPa}$, (untuk lanau berlempung)

$25 \text{ t/m}^2 = 245 \text{ kPa}$, (untuk lanau berpasir)

$40 \text{ t/m}^2 = 392 \text{ kPa}$, (untuk pasir)

Qp = Tegangan di ujung tiang

Qs = $q_s \cdot A_s = (N_s/3 + 1) \cdot A_s$

Di mana :

q_s = Tegangan akibat lekatan lateral dalam t/m^2

N_s = Harga rata-rata SPT sepanjang tiang yang tertanam, dengan batasan ; $3 \leq N \leq 50$

A_s = Keliling x panjang tiang yang terbenam

Harga N di bawah muka air tanah harus dikoreksi menjadi

N' berdasarkan perumusan sebagai berikut (Terzaghi & Peck):

$$N' = 15 + 0,5 (N-15)$$

Di mana:

N = Jumlah pukulan kenyataan di lapangan untuk di bawah muka air tanah.

4.7.4.2 Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok

Untuk daya dukung pondasi kelompok, terlebih dahulu dikoreksi dengan apa yang disebut dengan koefisien efisiensi C_e .

$$Q_L (\text{group}) = Q_L (1 \text{ tiang}) \times n \times \eta$$

dengan n = jumlah tiang dalam group

Daya dukung pondasi kelompok menurut Converse Labarre adalah :

Efisiensi :

$$C_e = 1 - \frac{\arctan\left(\frac{\phi}{s}\right)}{90^\circ} \times \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right)$$

Di mana :

ϕ = diameter tiang pancang

s = jarak antar tiang pancang

m = jumlah baris tiang pancang dalam grup

n = jumlah kolom tiang pancang dalam grup

4.7.4.3 Repartisi Beban di Atas Tiang Berkelompok

Bila di atas tiang-tiang dalam kelompok yang disatukan oleh sebuah kepala tiang (*poer*) bekerja beban-beban vertikal (V), horizontal (H), dan momen (M), maka besarnya beban vertikal ekuivalen (P_v) yang bekerja pada sebuah tiang adalah:

$$P_{max} = \frac{\sum V}{n} + \frac{M_x \cdot y_{max}}{\sum y_i^2} + \frac{M_y \cdot x_{max}}{\sum x_i^2}$$

Di mana :

P_i = total beban yang bekerja pada tiang yang ditinjau

y_{max} = jarak maksimum tiang yang ditinjau dalam arah y

x_{max} = jarak maksimum tiang yang ditinjau dalam arah x

$\sum x_i^2$ = jumlah kuadrat jarak tiang pancang terhadap as *poer* arah x

$\sum y_i^2$ = jumlah kuadrat jarak tiang pancang terhadap as *poer* arah y

nilai x dan y positif jika arahnya sama dengan arah e , dan negatif bila berlawanan dengan arah e .

4.7.5 Perhitungan Tiang Pancang

Untuk perancangan pondasi kolom diambil gaya-gaya dalam paling maksimum pada kolom K1. Sehingga untuk pondasi kolom yang lain direncanakan tipikal.

Dari analisa struktur SAP2000 pada kaki kolom dengan kombinasi **1,0D+1,0L** didapat gaya-gaya dalam sebagai berikut :

P	= 990,92	ton
Mux	= 5,44	t.m
Muy	= 3,57	t.m
Hx	= 1,221	t
Hy	= 4,41	t

4.7.5.1 Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal

Dari hasil data tanah yang didapatkan dari PT Frankpile Indonesia digunakan contoh untuk kedalaman 21 m dengan diameter tiang pancang 600 mm (lihat Tabel 4.29).

Dari data tanah tersebut kemudian dihitung menggunakan persamaan *Luciano Decourt* : $Q_N = Q_p + Q_s$

Di mana:

$$\begin{aligned} Q_p &= (N_p \cdot K) A_p \\ &= (42,57 \times 40) \times 0,283 \\ &= 481,48 \text{ t} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_s &= \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) A_s \\ &= \left(\frac{25,09}{3} + 1 \right) 39,59 \\ &= 370,65 \text{ t} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_l &= Q_p + Q_s \\ &= 481,48 + 370,65 \\ &= 852,12 \text{ t} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_u &= \frac{Q_l}{SF} = \frac{852,12}{3} \\ &= 284,05 \text{ t} \end{aligned}$$

Tabel 4.29 Hasil SPT

D (m)	Jenis Tanah	N- SPT	N'	Np	K (t/m ³)	qp (t/m ²)	Ns	Qs (t)	As (m ²)	Qs (t)	Ql (t)	Qu (t)
0	LL	0	0	2.375	20	47.5	3	2	0	0	13.430	4.47
1	LL	1.5	1.5	3.3	20	66	3	2	1.884	3.76	22.430	7.47
2	LL	3	3	4.083	20	81.666	3	2	3.769	7.53	30.630	10.21
3	LL	5	5	4.642	20	92.857	3	2	5.654	11.30	37.564	12.52
4	LL	7	7	6.642	20	132.857	3.3	2.1	7.539	15.83	53.398	17.79
5	LL	8	8	8.928	20	178.571	4.083	2.361	9.424	22.25	72.742	24.24
6	LL	8	8	11.5	20	230	4.642	2.547	11.309	28.81	93.843	31.28
7	LL	14	14	14.285	20	285.714	80.783	2.937	13.194	38.75	119.543	39.84
8	LL	20	17.5	17.142	20	342.857	96.940	7.111	15.079	50.82	147.764	49.25
9	LL	27	21	22.214	20	444.285	125.618	8.5	16.964	65.03	190.649	63.54
10	LL	34	24.5	29.642	20	592.857	167.626	9.954	18.849	81.39	249.022	83.00
11	LL	39	27	34.642	20	692.857	195.900	11.375	20.734	99.35	295.253	98.41
12	LP	72	43.5	37.5	25	937.5	265.071	13.846	22.619	127.01	392.088	130.69
13	LP	105	60	36.357	25	908.928	256.993	17.142	6.714	24.504	164.52	140.50
14	LP	83	49	36.714	25	917.857	259.518	19.266	7.422	26.389	195.86	151.79
15	LP	60	37.5	38.571	25	964.285	272.645	20.406	7.802	28.274	220.59	164.41
16	LL	13	13	40.857	20	817.142	231.041	19.970	7.656	30.159	230.92	153.98
17	LP	39	27	39.214	25	980.357	277.189	20.361	7.787	32.044	249.52	175.57
18	LP	65	40	37.571	25	939.285	265.576	21.394	8.131	33.929	275.89	180.49
19	P	104	59.5	37.571	40	1502.857	424.972	23.3	8.766	35.814	313.97	246.29
20	P	82	48.5	41.071	40	1642.857	464.506	24.5	9.166	37.699	345.57	270.02
21	P	60	37.5	42.571	40	1702.857	481.471	25.090	9.363	39.584	370.65	284.04
22	P	60	37.5	42.214	40	1688.571	477.432	25.630	9.543	41.469	395.75	291.06
23	P	60	37.5	40.857	40	1634.286	462.083	26.125	9.708	43.353	420.89	294.32
24	P	60	37.5	42.785	40	1711.429	483.895	26.58	9.86	45.238	446.05	292.98
25	P	60	37.5	42.785	40	1711.429	483.895	27	10	47.123	955.133	318.37

Berdasarkan tabel di atas, daya dukung 1 pondasi berdiameter 600 mm pada kedalaman 21 m adalah:

$$P_{ijin} = 284,04 \text{ t}$$

Daya dukung izin pondasi satu tiang diameter 600 mm berdasarkan mutu bahan adalah:

$$P_{tiang} = 292 \text{ t}$$

4.7.5.2 Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok

Untuk menentukan jumlah tiang yang diperlukan dalam menahan beban reaksi kolom dapat dihitung dengan pendekatan jumlah tiang perlu adalah beban aksial *ultimate* dasar kolom (Hasil dari analisis struktur dengan program bantu SAP2000) dibagi dengan daya dukung izin satu tiang.

Jumlah tiang yang minimum yang diperlukan:

$$\begin{aligned} n &= \frac{P_n}{P_{ijin}} = \frac{990,922}{284,04} \\ &= 3,49 \approx 4 \text{ tiang} \end{aligned}$$

Dengan adanya beban akibat gaya lateral maka dicoba dengan 4 tiang pancang dengan susunan 2 x 2.

Jumlah tiang pancang didesain jaraknya sesuai yang diijinkan. Tebal poer yang direncanakan pada tiang pancang grup ini sebesar 1,1 meter.

- Jarak antar tiang :

$$2 D \leq S \leq 3 D$$

$$2 \times 600 \leq S \leq 3 \times 600$$

$$1200 \text{ mm} \leq S \leq 1800 \text{ mm}$$

Digunakan jarak antar tiang = 1500 mm

- Jarak tepi tiang pancang :

$$1 D \leq S_1 \leq 2 D$$

$$1 \times 600 \leq S_1 \leq 2 \times 600$$

$$600 \text{ mm} \leq S_1 \leq 1200 \text{ mm}$$

Digunakan jarak tiang ke tepi = 600 mm

- Perhitungan Daya Dukung Tiang Kelompok:

Untuk daya dukung pondasi kelompok harus dikoreksi terlebih dahulu dengan apa yang disebut koefisien efisiensi (η). Daya dukung pondasi kelompok menurut Converse Labarre.

Efisiensi:

$$\eta = 1 - \frac{\arctan\left(\frac{\phi}{s}\right)}{90^\circ} \times \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right)$$

Dimana :

D = diameter tiang pancang

S = jarak antar tiang pancang

m = jumlah baris tiang pancang dalam grup = 2

n = jumlah kolom tiang pancang dalam grup = 2

$$\begin{aligned}\eta &= 1 - \frac{\arctan\left(\frac{600}{1500}\right)}{90^\circ} \times \left(2 - \frac{1}{2} - \frac{1}{2}\right) \\ &= 0,996\end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned}Q_{izingrup} &= \eta \times Q_{ijintiang} \times n \\ &= 0,996 \times 284,04 \times 4 \\ &= 1268,127 \geq 990,922 \text{ t (OK)}\end{aligned}$$

- Perhitungan Beban Aksial Maksimum Pondasi Kelompok
Momen yang bekerja pada poer akibat adanya gaya horizontal:

$$P_{max} = \frac{\sum V}{n} + \frac{Mx.y_{max}}{\sum yi^2} + \frac{My.x_{max}}{\sum xi^2}$$

Dimana :

P_i = Total beban yang bekerja pada tiang yang ditinjau

y_{max} = jarak maksimum tiang yang ditinjau dalam arah y

x_{max} = jarak maksimum tiang yang ditinjau dalam arah x

$\sum x_i^2$ = jumlah kuadrat jarak tiang pancang terhadap as poer arah x

$\sum y_i^2$ = jumlah kuadrat jarak tiang pancang terhadap as poer arah y

$$\sum xi^2 = 4(1500^2) = 9000000 \text{ mm}^2 = 9 \text{ mm}^2$$

$$\sum yi^2 = 4(1500^2) = 9000000 \text{ mm}^2 = 9 \text{ mm}^2$$

Momen yang bekerja:

$$M_x = M_{ux} + (H_y \times t) = 5,44 + (4,41 \times 1,1) = 10,29 \text{ tm}$$

$$M_y = M_{uy} + (H_x \times t) = 3,57 + (1,221 \times 1,1) = 4,913 \text{ tm}$$

Perhitungan Beban Aksial Maksimum pada Pondasi Kelompok

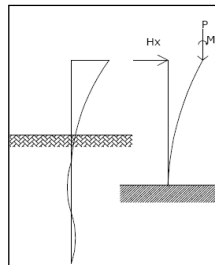
$$\text{a. Reaksi Kolom} = 990,922 \text{ t}$$

$$\text{b. Berat poer} = 2,7 \times 2,7 \times 2 = 14,58 \text{ t} + \frac{8,019}{\Sigma V} = 1010,168 \text{ t}$$

Sehingga didapatkan:

$$P_{max} = \frac{1010,168}{4} + \frac{10,29}{9} + \frac{4,913}{9} = 257,61 \leq 284,04 \text{ t (OK)}$$

4.7.5.3 Kontrol Kekuatan Tiang Terhadap Gaya Lateral Interior



Gambar 4.56 Diagram Gaya Lateral Tiang Pondasi

Panjang jepitan kritis tanah terhadap tiang pondasi menurut metode Foray dan Puech dimana kedalaman minimal tanah terhadap tiang pondasi didapat dari harga terbesar dari gaya-gaya berikut :

$$\begin{aligned} L_e &= \sqrt{B} \times 25 \times \left(1 + \frac{qp}{10}\right) \\ &= \sqrt{2700} \times 25 \times \left(1 + \frac{481,48}{10}\right) \\ &= 2,02 \text{ m} \end{aligned}$$

$$M_y = L_e \times H_y = 2,02 \times 4,41 = 8,9 \text{ tm}$$

$$My(1 \text{ tiang pancang}) = \frac{My}{n} = \frac{8,9}{2} = 4,45 \text{ tm}$$

$$Mbendingcrack = 19,64 \text{ tm}$$

$$My(1 \text{ tiang pancang}) \leq Mbendingcrack \text{ (OK)}$$

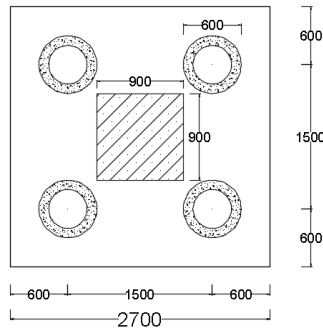
$$Mx = Le \times Hx = 2,02 \times 1,221 = 2,47 \text{ tm}$$

$$Mx(1 \text{ tiang pancang}) = \frac{My}{n} = \frac{2,47}{2} = 1,23 \text{ tm}$$

$$Mbendingcrack = 19,64 \text{ tm}$$

$$Mx(1 \text{ tiang pancang}) \leq Mbendingcrack \text{ (OK)}$$

4.7.6 Perencanaan Poer Kolom



Gambar 4.57 Gambar Poer Tipe Po1

Pada penulangan lentur poer dianalisa sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit pada kolom. Beban yang bekerja adalah beban terpusat dari tiang sebesar P dan berat sendiri poer sebesar q . perhitungan gaya dalam pada poer diperoleh dengan mekanika statis tertentu.

Data-data perencanaan :

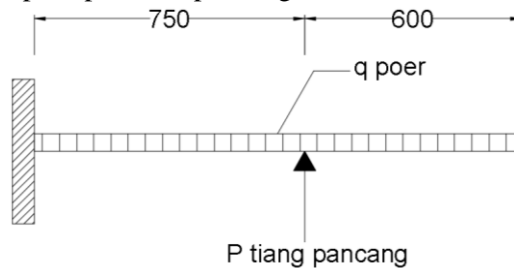
- Dimensi poer (B x L) = 2700 x 2700 mm
- Tebal poer (t) = 1100 mm
- Diameter tulangan utama = 25 mm
- Dimensi kolom = 900 × 900 mm
- Tebal selimut beton = 40 mm
- Tinggi efektif balok poer

$$\text{Arah } x \text{ (} d_x \text{)} = 1100 - 40 - \frac{1}{2} \cdot 25 = 1047,5 \text{ mm}$$

$$\text{Arah } y \text{ (} d_y \text{)} = 1100 - 40 - 25 - \frac{1}{2} \cdot 32 = 1022,5 \text{ mm}$$

4.7.6.1 Penulangan Poer

Untuk penulangan lentur, poer dianalisis sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit pada kolom. Sedangkan beban yang bekerja adalah beban terpusat di tiang kolom yang menyebabkan reaksi pada tanah dan berat sendiri poer. Perhitungan gaya dalam pada poer didapat dengan teori mekanika statis tertentu.



Gambar 4.58 Analisis Poer sebagai Balok Kantilever

$$\text{Berat poer (} qu \text{)} = 2,7 \times 1,1 \times 2,4 = 7,128 \text{ t/m}$$

$$Pt = 2P_{maks} = 2 \times 257,607 = 515,22 \text{ t}$$

Penulangan Arah X

Penulangan lentur:

$$Pu = 1,2 \times 515,22 = 618,25 \text{ t}$$

$$qu = 7,128 \text{ t/m}$$

Momen – momen yang bekerja:

$$\begin{aligned} M &= (Pt \times x) - \left(\frac{1}{2} q \times l^2 \right) \\ &= (618,25 \times 0,75) - \left(\frac{1}{2} 7,128 \times 1,35^2 \right) \\ &= 457,2 \text{ tm} \\ &= 4572000000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_{rc}} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{4572000000}{0,9 \times 1000 \times 1047,5^2} = 4,63$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 4,63}{400}} \right) = 0,0129$$

$$\begin{aligned} As_{perlu} &= \rho_{perlu} \times b_w \times d \\ &= 0,0129 \times 1000 \times 1044 \\ &= 13485,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{As_{perlu}}{AD25} = \frac{13485,75}{510} = 26,5 \approx 27 \text{ buah}$$

$$S = \frac{b_w}{n-1} = \frac{1000}{27-1} = 103,85 \text{ mm}$$

Maka dipasang tulangan lentur arah X D25-100 mm

Penulangan Arah Y

Penulangan lentur:

$$P_u = 1,2 \times 515,22 = 618,25 \text{ t}$$

$$q_u = 7,128 \text{ t/m}$$

Momen – momen yang bekerja:

$$\begin{aligned} M &= (P_u \times x) - \left(\frac{1}{2} q_u \times l^2 \right) \\ &= (618,25 \times 0,75) - \left(\frac{1}{2} 7,128 \times 1,35^2 \right) \\ &= 457,2 \text{ tm} \\ &= 4572000000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_{rc}} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{4572000000}{0,9 \times 1000 \times 1047,5^2} = 4,63$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}} \right) = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 4,63}{400}} \right) \\ = 0,0129$$

$$As_{perlu} = \rho_{perlu} \times bw \times d \\ = 0,0129 \times 1000 \times 1044 \\ = 13485,75 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As_{perlu}}{AD25} = \frac{13485,75}{510} = 26,5 \approx 27 \text{ buah}$$

$$S = \frac{bw}{n-1} = \frac{1000}{27-1} = 103,85 \text{ mm}$$

Maka dipasang tulangan lentur arah Y D25-100 mm

4.7.6.2 Kontrol Geser Pons Kolom Tepi

Dalam merencanakan tebal poer, harus memenuhi persyaratan bahwa kekuatan gaya geser nominal harus lebih besar dari geser pons yang terjadi. Menurut SNI 2847:2013 pasal 11.2.1 kuat geser yang disumbangkan beton diambil terkecil dari :

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \sqrt{f'_c} \times b_o \times d$$

$$V_c = 0,083 \times \left(\frac{\alpha_s \times d}{b_o} \right) \sqrt{f'_c} \times b_o \times d$$

$$V_c = 0,33 \times \sqrt{f'_c} \times b_o \times d$$

Dengan :

Dimensi poer : 2,7 x 2,7 x 1,10 m³

Selimut beton : 40 mm

D tul utama : D25

Tinggi efektif : d = 1100 - 40 - ½ x 25 = 1047,5 mm

dimana :

$$\beta_c = \text{rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek pada kolom} \\ = \frac{900}{900} = 1,00$$

$$b_o = \text{keliling dari penampang kritis pada poer} \\ = 2 (b_{kolom} + d) + 2 (h_{kolom} + d) \\ = 2 \times (900 + 1047,5) + 2 \times (900 + 1047,5) = 7790 \text{ mm}$$

$\alpha_s = 20$, untuk kolom tepi

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \sqrt{f'_c} \times b_o \times d \\ &= 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{1}\right) \sqrt{30} \times 7790 \times 1047,5 \\ &= 22794091,8 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,083 \times \left(\frac{\alpha_s \times d}{b_o}\right) \sqrt{f'_c} \times b_o \times d \\ &= 0,083 \times \left(\frac{20 \times 1047,5}{7790}\right) \sqrt{30} \times 7790 \times 1047,5 \\ &= 9976467 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,33 \times \sqrt{f'_c} \times b_o \times d \\ &= 0,33 \times \sqrt{30} \times 7790 \times 1047,5 \\ &= 14749118,2 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 9976467 \text{ N} \\ &= 997,64 \text{ t} \end{aligned}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 997,64 = 748,23 \text{ t} \geq P_u = 387,06 \text{ t} \quad (\text{Pu kolom tepi terbesar yang didapat dari SAP2000})$$

4.7.7 Perencanaan Balok Sloof

Struktur sloof dalam hal ini digunakan dengan tujuan agar terjadi penurunan secara bersamaan pada pondasi atau dalam kata lain sloof mempunyai fungsi sebagai pengaku yang menghubungkan antar pondasi yang satu dengan yang lainnya. Adapun beban-beban yang ditimpakan ke sloof meliputi : berat sendiri sloof, berat dinding pada lantai paling bawah, beban aksial tekan atau tarik yang berasal dari 10% beban aksial kolom.

$$\begin{aligned} \text{Dimensi sloof: } b &= 500 \text{ mm} \\ h &= 700 \text{ mm} \\ Ag &= 350000 \text{ mm}^2 \\ \text{Mutu bahan: } f'_c &= 30 \text{ MPa} \\ f_y &= 400 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Selimut beton} &= 40 \text{ mm} \\
 \text{Tul. Utama} &= 25 \text{ mm} \\
 \text{Tul. Sengkang} &= 13 \text{ mm} \\
 d &= 700 - 40 - 13 - \frac{25}{2} \\
 &= 634,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Beban – beban yang terjadi pada *sloof*:
 Beban dinding $= 0,1 \times 4 = 0,4 \text{ t/m}$
 Berat *sloof* sendiri $= 0,5 \times 0,7 \times 2,4 = 0,84 \text{ t/m}$
 Total $= 0,4 + 0,84 = 1,24 \text{ t/m}$

$$\begin{aligned}
 Qu &= 1,2 \times 1,24 = 1,488 \text{ t/m} \\
 \text{Panjang Sloof} &= 5,3 \text{ m} \\
 Mu &= \frac{1}{12} \times qu \times ln^2 = \frac{1}{12} \times 1,488 \times 5,3^2 \\
 &= 3,484 \text{ tm} \\
 &= 34,84 \text{ kNm} \\
 Vu &= \frac{1}{2} \times qu \times ln = \frac{1}{2} \times 1,488 \times 5,3 \\
 &= 3,9432 \text{ t} \\
 &= 39,432 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Penulangan tarik pada *sloof*
 $Mu = 34840000 \text{ Nmm}$
 $m = \frac{fy}{0,85 \times f'c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$
 $Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{34840000}{0,9 \times 500 \times 634,5^2} = 0,192$
 $\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}} \right) = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 0,192}{400}} \right)$
 $= 0,0005$
 $\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$
 $As_{butuh} = \rho_{min} \times bw \times d = 0,0035 \times 500 \times 634,5$

$$= 1110,375 \text{ mm}^2$$

$$As1 = \frac{Vu}{fy} = \frac{39432}{400} = 98,58 \text{ mm}^2$$

$$As + As1 = 1110,375 + 98,58 = 1208,955 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan tulangan tarik 3D25 ($As = 1530 \text{ mm}^2$)

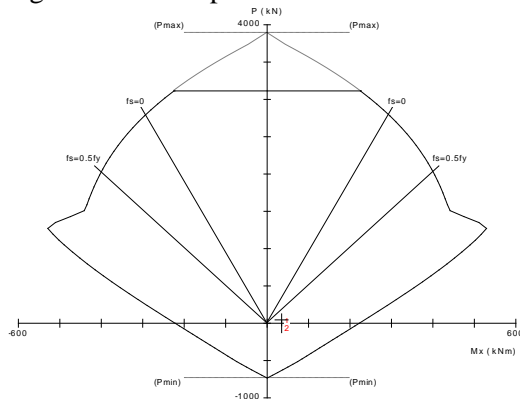
- Penulangan tekan pada *sloof*

$$0,5A_{tarik} = 1530 \times 0,5 = 765 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan tulangan tekan 2D25 ($As = 1020 \text{ mm}^2$)

- Penulangan aksial (H = Reaksi horizontal pada perletakan)

Dengan $P_u = 45 \text{ kN}$ dan $M_u = 34,84 \text{ kNm}$ dari analisis spcolumn didapat tulangan 4D25 mampu menahan beban



Gambar 4.59 Diagram Interaksi Beban Aksial dan Momen pada Sloof

- Penulangan geser *sloof*

$$Nu = 10\% \times P_{ukolom} = 10\% \times 990,922 = 99,1 \text{ t} \\ = 990921,9 \text{ N}$$

$$Vc = \frac{\left(1 + \frac{Nu}{14Ag}\right)}{6} \sqrt{f'c} \times b \times d \\ = \frac{1 + \frac{990921,9}{14 \times 350000}}{6} \times \sqrt{30} \times 500 \times 634,5 \\ = 348175,48 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}\phi V_c &= 0,75 \times V_c = 0,75 \times 348175,48 \\ &= 261131,614 \text{ N}\end{aligned}$$

$$0,5\phi V_c = 130565,8 \text{ N} \geq V_u = 39432 \text{ N}$$

Maka tidak dibutuhkan tulangan geser

4.8 Metode Pelaksanaan

4.8.1 Umum

Dalam setiap pekerjaan konstruksi, metode pelaksanaan merupakan pertimbangan penting yang tidak bisa dipisahkan. Apalagi menyangkut struktur beton pracetak. Untuk merencanakan beton pracetak, terlebih dahulu harus diketahui apakah struktur tersebut bisa dilaksanakan. Tahap pelaksanaan ini akan diuraikan mengenai item – item pekerjaan konstruksi dan pembahasan mengenai pelaksanaan yang berkaitan dengan penggunaan material – material beton pracetak, proses pekerjaan yang dilakukan di proyek ini adalah ;

- Proses pencetakan secara pabrikasi di industri pracetak. Hal – hal yang perlu dipertimbangkan dengan proses pabrikasi adalah :
 - a. Perlunya standar khusus sehingga hasil pracetak dapat diaplikasikan secara umum di pasaran
 - b. Terbatasnya fleksibilitas ukuran yang disediakan untuk elemen pracetak yang disebabkan karena harus mengikuti kaidah sistem dimensi satuan yang disepakati bersama dalam bentuk kelipatan suatu modul.
 - c. Dengan cara ini memungkinkan untuk mencari produk yang terbaik dari lain pabrik.

4.8.2 Pengangkatan dan Penempatan Crane

Hal – hal yang perlu diperhatikan dalam pengangkatan elemen pracetak antara lain :

1. kemampuan maksimum crane yang digunakan
2. metode pengangkatan
3. letak titik – titik angkat pada elemen pracetak

hal – hal tentang pengangkatan dan penentuan tidak angkat telah dibahas pada bab – bab sebelumnya. Dalam perencanaan ini memakai peralatan tower crane untuk mengangkat elemen pracetak di lapangan. Untuk pemilihan tower crane harus disesuaikan antara kemampuan angkat crane dengan berat elemen pracetak.

- STT293 CONCISE TOWER CRANE
- Jarak jangkauan maksimum 74 m dengan beban maksimum 18 ton
- *Tower crane* yang digunakan 1 buah

Tabel 4.30 Kapasitas Angkat dan Radius *Tower Crane*

R	Fall	R(max) m	C(max) t	30	35	40	44	50	54	60	64	70	74
74	IV	14.3	18.00	7.02	6.23	5.05	4.48	3.80	3.43	2.98	2.72	2.39	2.20
	II	25.9	9.00	7.66	6.73	5.55	4.98	4.30	3.93	3.48	3.22	2.89	2.70
70	IV	14.6	18.00	7.42	6.41	5.25	4.66	3.96	3.58	3.11	2.84	2.50	
	II	26.7	9.00	7.92	6.91	5.75	5.16	4.46	4.08	3.61	3.34	3.00	
64	IV	15.7	18.00	8.30	7.03	5.83	5.19	4.42	4.01	3.49	3.20		
	II	29.1	9.00	8.80	7.53	6.33	5.69	4.92	4.51	3.99	3.70		
60	IV	15.7	18.00	8.30	7.00	5.84	5.20	4.43	4.02	3.50			
	II	29.1	9.00	8.80	7.51	6.34	5.70	4.93	4.52	4.00			
54	IV	15.7	18.00	8.40	7.08	5.95	5.30	4.52	4.10				
	II	29.6	9.00	8.90	7.57	6.45	5.80	5.02	4.60				
50	IV	16.3	18.00	8.60	7.44	6.30	5.62	4.80					
	II	31.0	9.00	9.00	7.94	6.80	6.12	5.30					
44	IV	18.2	18.00	10.10	8.53	7.28	6.50						
	II	35.0	9.00	9.00	9.00	7.78	7.00						
40	IV	18.5	18.00	10.35	8.76	7.50							
	II	35.9	9.00	9.00	9.00	8.00							
35	IV	18.5	18.00	10.35	8.80								
	II	35.0	9.00	9.00	9.00								
30	IV	18.5	18.00	10.35									
	II	30.0	9.00	9.00									

4.8.2.1 Kontrol Kapasitas Crane

Balok Induk

$$\begin{aligned}
 W &= 0,5 \times 0,55 \times 8 \times 2400 \\
 &= 5280 \text{ kg} \\
 &= 5,28 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Balok Induk dapat diangkut dengan crane sampai radius 50 meter

Balok Anak

$$\begin{aligned}
 W &= 0,3 \times 0,35 \times 6 \times 2400 \\
 &= 1512 \text{ kg} \\
 &= 1,512 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Balok Anak dapat diangkut dengan crane sampai radius 74 meter

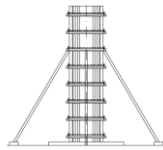
Pelat

$$\begin{aligned}
 W &= 0,1 \times 6 \times 2 \times 2400 \\
 &= 2880 \text{ kg} \\
 &= 2,88 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Pelat dapat diangkut dengan crane sampai radius 70 meter

4.8.3 Pekerjaan Elemen Kolom

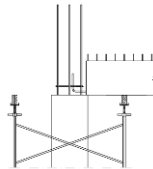
Setelah dilakukan pemancangan, pembuatan *pile cap* dan sloof, maka tulangan kolom dipasang bersamaan dengan pendimensian *pile cap*. Tulangan kolom bersamaan dengan tulangan konsol yang telah disiapkan dicor sampai batas yang sudah ditentukan. Dalam hal ini sampai ketinggian permukaan bawah balok induk yang menumpang pada kolom.



Gambar 4.60 Pemasangan Bekisting untuk Pembuatan Kolom

4.8.4 Pemasangan Elemen Balok Induk

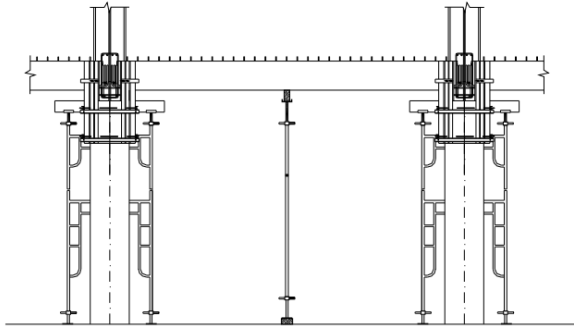
Pemasangan balok pracetak setelah pengecoran kolom. Balok induk dipasang terlebih dahulu baru kemudian dilanjutkan dengan pemasangan balok anak. Diperlukan peralatan *crane* dan *scaffolding* untuk membantu menunjang balok pracetak. Kemudian dapat dilanjutkan dengan pemasangan tulang utama pada balok yaitu tulangan tarik pada tumpuan. Lalu setelah tulangan terpasang baru dilakukan pengecoran.



Gambar 4.61 Pemasangan Balok Induk Pracetak

4.8.5 Pemasangan Elemen Balok Anak

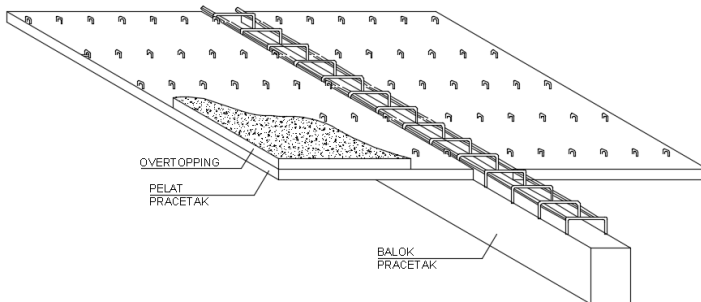
Pemasangan balok anak pracetak di bagian tengah balok induk. Konsol tempat bertumpunya balok anak pun terbuat dari beton pracetak dengan balok. Untuk mencegah terjadinya kerusakan pada balok induk maupun balok anak, maka dipasang tiga buah perancah dengan posisi satu di tengah dan dua di tepi.



Gambar 4.62 Pemasangan Balok Anak Pracetak

4.8.6 Pemasangan Elemen Pelat

Pemasangan pelat pracetak di atas balok induk dan balok anak sesuai dengan dimensi pelat yang sudah ditentukan. Pemasangan tulangan bagian atas, baik tulangan tumpuan maupun tulangan lapangan untuk pelat, balok anak dan balok induk.



Gambar 4.63 Pengecoran Overtopping

Setelah semua tulangan terpasang, kemudian dilakukan pengecoran pada bagian atas pelat, balok anak, dan balok induk yang berfungsi sebagai topping atau penutup bagian atas. Selain itu topping juga berfungsi untuk merekatkan komponen pelat, balok anak, dan balok induk agar menjadi satu kesatuan (komposit). Hal ini diperkuat dengan adanya tulangan panjang penyaluran pada masing – masing komponen pelat, balok anak, dan balok induk. Topping digunakan setinggi 5 cm.

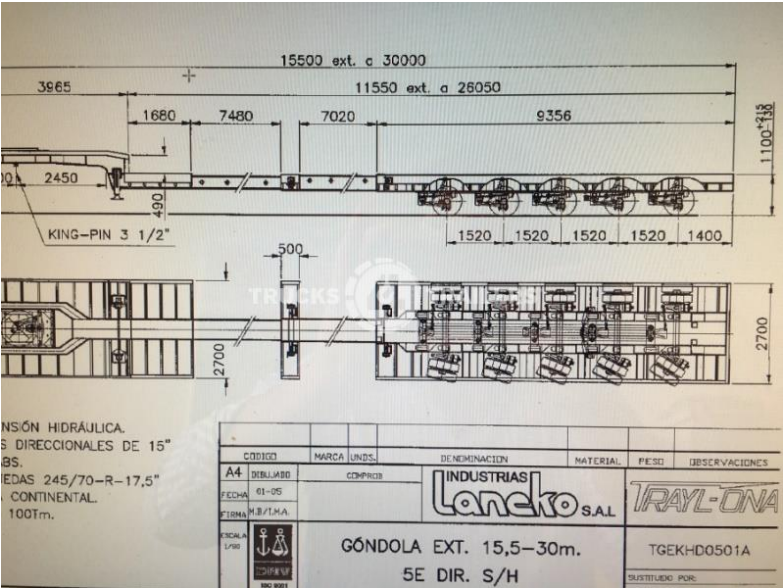
Untuk pekerjaan lantai berikutnya dilakukan sama dengan urutan pelaksanaan di atas sampai semua elemen pracetak terpasang.

4.8.7 Transportasi Elemen Beton Pracetak

Sistem transportasi meliputi :

1. Pemindahan beton pracetak di areal pabrik
2. Pemindahan dari pabrik ke tempat penampungan di proyek
3. Pemindahan dari penampungan sementara di proyek ke posisi akhir

Tahap pemindahan komponen beton pracetak dari lokasi pabrikasi ke areal proyek diperlukan sarana angkut seperti truk tunggal, tandem, atau temple. Digunakan truk semi trailer berukuran lebar 2,7 m x 15 m 80 ton. Di areal lokasi proyek diperlukan sarana untuk pemindahan komponen beton pracetak mempergunakan tower crane.



Gambar 4.64 Dimensi Truk Semi Trailer

4.8.8 Metode Pelaksanaan Basement

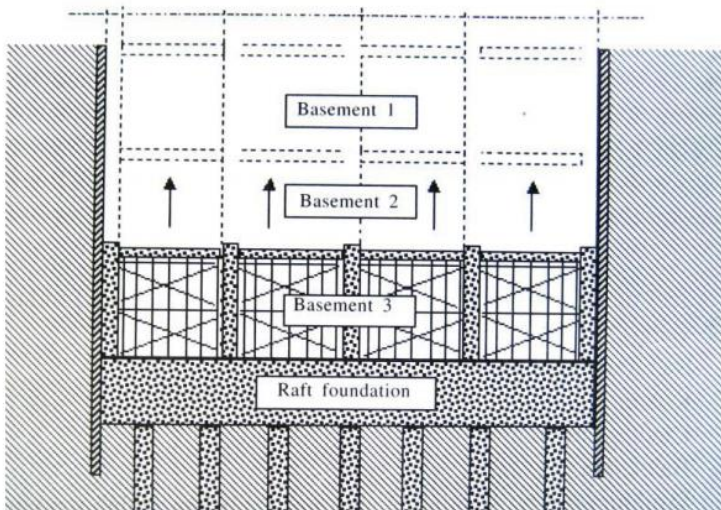
Pada sistem ini, *sheet pile* dipasang terlebih dahulu sebelum pelaksanaan galian. Struktur *basement* dilaksanakan setelah seluruh pekerjaan galian selesai mencapai galian elevasi rencana (sistem konvensional). Pelat basement paling bawah dicor terlebih dahulu, kemudian basement diselesaikan dari bawah keatas, dengan menggunakan scaffolding. Kolom, balok dan slab dicor ditempat (*cast in place*).

Secara garis besar kegiatan-kegiatan yang dilakukan pada pelaksanaan konstruksi basement dengan metode bottom up ialah sebagai berikut :

- 1. Mobilisasi peralatan
- 2. Pelaksanaan pondasi tiang pancang
- 3. Pelaksanaan dinding penahan tanah (*sheet pile*)
- 4. Penggalian dan pembuangan tanah

5. Dewatering
6. Poer pondasi
7. Waterproofing
8. Tie beam dan pondasi rakit
9. Dinding basement dan struktur bertahap keatas
10. Lantai basement bertahap ke atas

Secara umum, kegiatan-kegiatan pekerjaan tersebut diatas adalah item pekerjaan utama yang hampir dapat selalu ditemukan dalam suatu pelaksanaan pekerjaan basement dengan metode konvensional. Berikut adalah gambaran pelaksanaan pekerjaan berdasarkan urutan pekerjaan yang mana harus dimulai dari lantai dasar basement.



Gambar 4.65 Pelaksanaan Basement dengan Metode Konvensional

Kemungkinan lain dapat saja terjadi, tetapi pada umumnya tata cara pelaksanaan metode basement konvensional akan mengikuti pola demikian. Beberapa hal yang dapat disebut

merupakan ciri-ciri pelaksanaan basement dengan metode konvensional yang lazim dilaksanakan dari jabaran di atas adalah:

1. Metode bottom up tidak memerlukan tata cara manajemen proyek secara khusus, karena umumnya sudah menjadi hal yang biasa dilaksanakan.
2. Diperlukan pengendalian muka air tanah sekeliling secara intensif
3. Dinding penahan tanah dapat tetap atau sementara, tetapi yang pasti untuk pelaksanaannya tidak dapat dilakukan simultan dengan pekerjaan lain, dinding penahan tanah adalah awal dari pekerjaan basement yang mutlak dilakukan sebelum pekerjaan lainnya dimulai kecuali tiang pondasi.
4. Setiap usaha mempercepat waktu pelaksanaan, pada umumnya menyebabkan penambahan sumber daya baik manusia maupun peralatan yang tidak sebanding dengan produksinya.
5. Semakin dalam (semakin banyak jumlah basement) metode pelaksanaan ini akan semakin sulit.
6. Diperlukan luas lahan yang cukup untuk mengendalikan transportasi galian tanah vertical.
7. Akibat proses penggalian dan kebutuhan akan konstruksi sementara yang banyak, maka kondisi lingkungan proyek akan padat dan kotor.
8. Kemungkinan melakukan kombinasi pelaksanaan secara simultan dengan kegiatan lainnya amat minim karena metode konstruksi memberikan urutan kegiatan demikian.
9. Biaya pelaksanaan sampai dengan kedalaman tertentu relatif lebih murah.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perancangan struktur yang dilakukan dalam penyusunan Tugas Akhir “Modifikasi Perencanaan Gedung Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Koja Jakarta dengan Metode Pracetak” maka dapat ditarik beberapa poin kesimpulan diantaranya:

1. Berdasarkan perancangan dimensi balok dan pelat yang mengacu pada SNI 2847:2013 pasal 9.5.2, yaitu ketentuan tebal minimum balok non prategang satu arah, juga perhitungan dimensi kolom, didapatkan hasil modifikasi sebagai berikut:
 - a. Struktur Sekunder
 - Dimensi balok anak = 30/50 cm
 - Dimensi balok bordes tangga = 50/70 cm
 - Dimensi balok bordes *ramp* = 35/50 cm
 - Dimensi penggantung lift = 30/50 cm
 - Dimensi penumpu lift = 30/50 cm
 - Tebal pelat = 15 cm
 - b. Struktur Primer
 - Dimensi balok induk = 50/70 cm
 - Dimensi kolom = 90/90 cm
 - Dimensi pilecap = $2,7 \times 2,7 \times 1,1$ m
 - Tiang pancang = $D60, H = 21$ m
 - Tebal *shearwall* = 40 cm
2. Komponen pracetak disambung dengan menggunakan sambungan basah (cor di tempat) dan konsol pendek agar bangunan tersebut menjadi bangunan pracetak yang monolit. Ukuran konsol pendek pada kolom adalah 500×400 mm dan konsol pendek pada balok induk adalah 300/185 mm

3. Detailing sambungan pracetak dirancang bersifat monolit antar elemennya dengan tulangan – tulangan dan *shear connector* yang muncul dari setiap elemen pracetak untuk menyatukan dengan elemen cor di tempat. Sambungan didesain sesuai dengan ketentuan yang berlaku yang mengacu pada SNI 2847:2013

5.2 Saran

Berdasarkan analisis selama proses penyusunan tugas akhir ini, beberapa saran yang penulis dapat sampaikan adalah sebagai berikut:

1. Pengerjaan sambungan antar elemen beton pracetak harus benar – benar diawasi agar gaya – gaya dari elemen beton pracetak dapat tersalurkan dengan baik, juga agar gedung menjadi monolit.
2. Sambungan pracetak lebih baik dibuat seminimal mungkin, agar elemen – elemen beton pracetak menjadi seragam sehingga memudahkan pembuatan elemen – elemen beton pracetak tersebut.
3. Masih banyak hal yang memerlukan penelitian lebih lanjut pada pengerjaan beton pracetak agar meningkatkan efisiensi pengerjaan, terutama pada sambungan elemen – elemen beton pracetak.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abduh, Muhammad. 2007. **Inovasi Teknologi dan Sistem Beton Pracetak di Indonesia: Sebuah Analisa Rantai Nilai**. Seminar dan Pameran HAKI 2007 – “KONSTRUKSI TAHAN GEMPA DI INDONESIA”. Jakarta
- [2] Badan Standardisasi Nasional. 2012. **SNI 03-1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung**. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
- [3] Badan Standardisasi Nasional. 2013. **SNI 03-1727-2013 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain**. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
- [4] Badan Standardisasi Nasional. 2013. **SNI 03-2847-2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung**. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
- [5] British Precast Concrete Federation. 2007. **A Little Book of Concrete: Why Precast Concrete? A Guide to One Hundred Advantages**. United Kingdom: British Precast Concrete Federation Ltd
- [6] Departemen Pekerjaan Umum. 1983. **Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG)**. Jakarta, Indonesia
- [7] Ervianto, Wulfram I. 2006. **Eksplorasi Teknologi dalam Proyek Konstruksi: Beton Pracetak & Bekisting**. Yogyakarta. PENERBIT ANDI Yogyakarta
- [8] Nurjannah, Siti Aisyah. 2011. **Perkembangan Sistem Struktur Beton Pracetak sebagai Alternatif pada Teknologi Konstruksi Indonesia yang Mendukung Efisiensi Energi serta Ramah Lingkungan**. Prosiding Seminar Nasional AVoER ke-3 Palembang, 26-27 Oktober 2011. Universitas Sriwijaya, Palembang.

- [9] Toscas, James G. 2014. **Designing with Precast and Prestressed.** Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI)



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG RUMAH SAKIT UMUM
DAERAH (RSUD) KOJA JAKARTA
DENGAN METODE PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Trie Sony Kusumowibowo

GAMBAR

DENAH PEMBALOKAN

SKALA

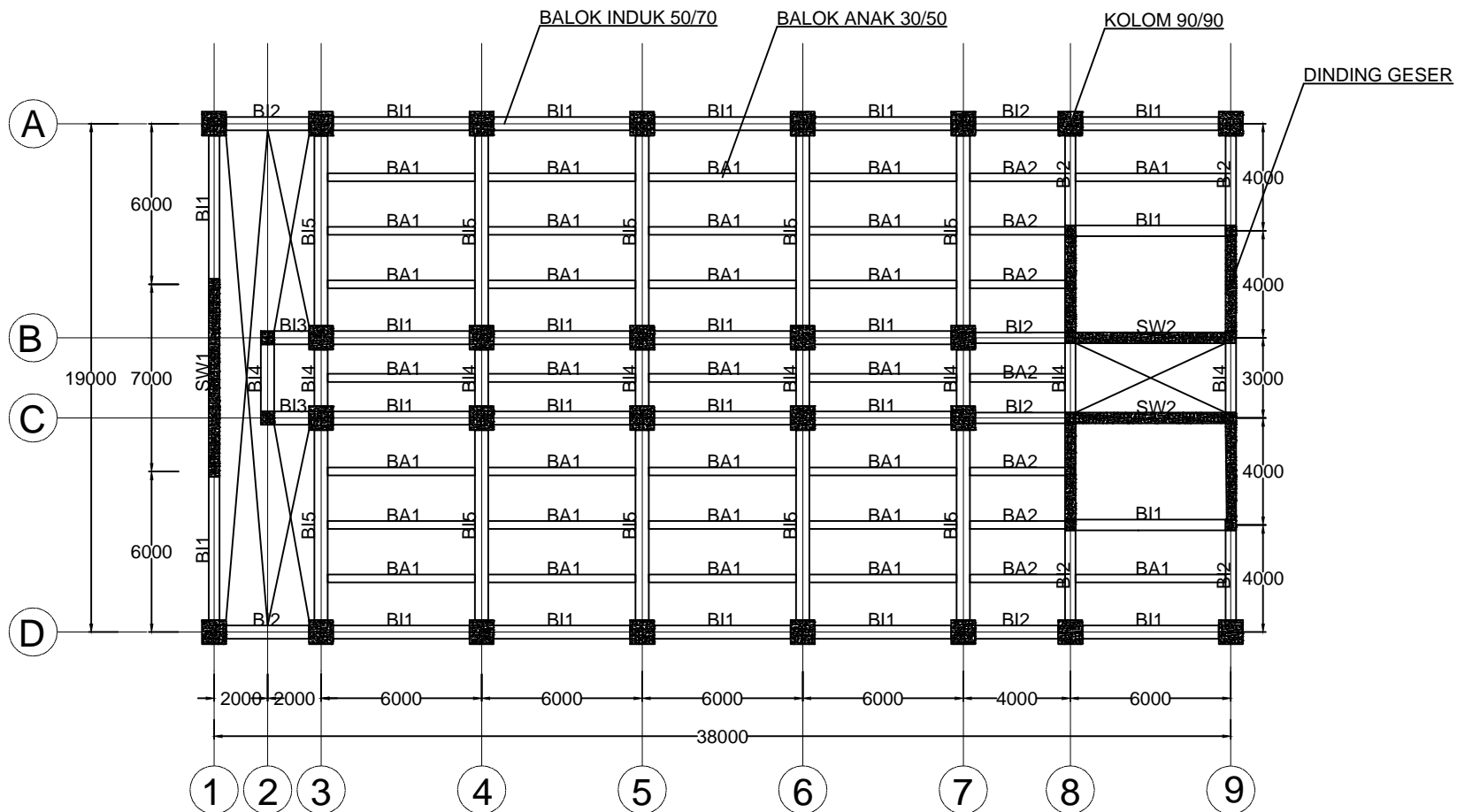
1:250

NO. LEMBAR JUMLAH LEMBAR

1

30

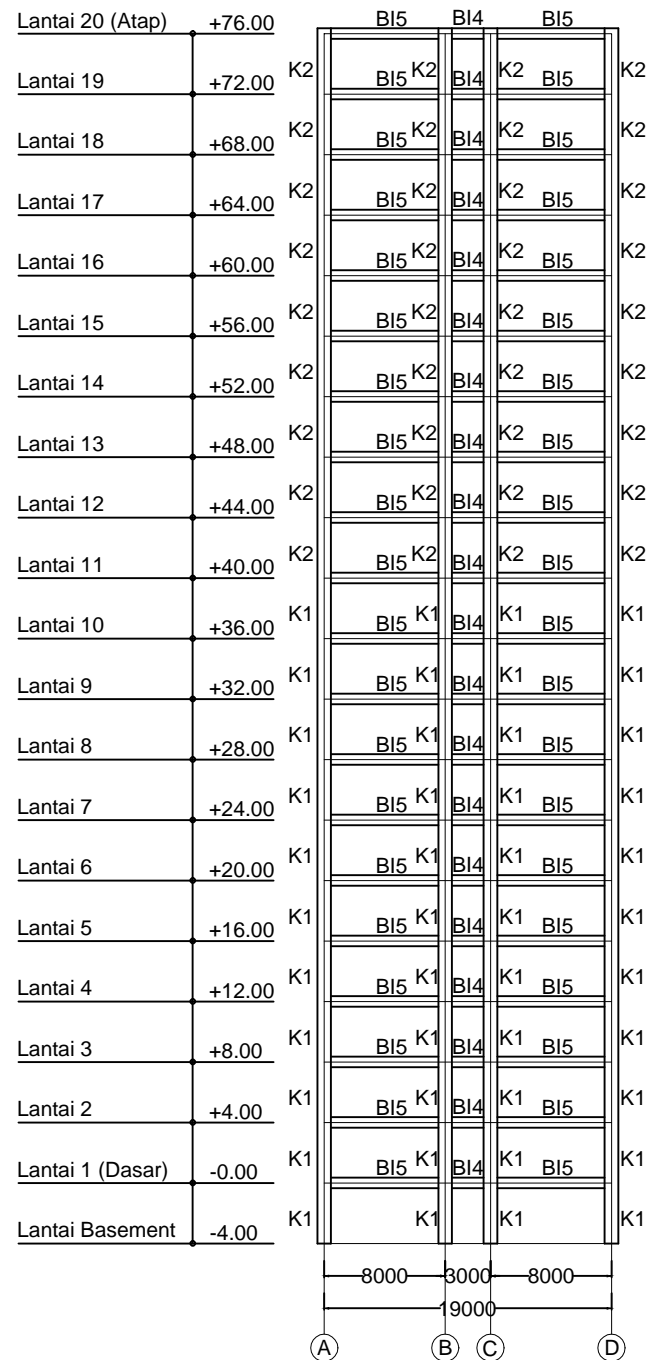
CATATAN



Denah Pembalokan dan *Shear Wall*
Skala 1:250

Tabel <i>Shear Wall</i>		
No.	Tipe <i>Shear Wall</i>	Tebal (cm)
1	SW1	40
2	SW2	40

Tabel Balok			
No.	Tipe Balok	Dimensi (cm)	Bentang (cm)
1	BI1	50/70	600
2	BI2	50/70	400
3	BI3	50/70	200
4	BI4	50/70	300
5	BI5	50/70	800
6	BA1	30/50	600
7	BA2	30/50	400



Denah Kolom Melintang
Skala 1:500



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG RUMAH SAKIT UMUM
DAERAH (RSUD) KOJA JAKARTA
DENGAN METODE PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Trie Sony Kusumowibowo

GAMBAR

DENAH KOLOM MELINTANG

SKALA

1:500

NO. LEMBAR JUMLAH LEMBAR

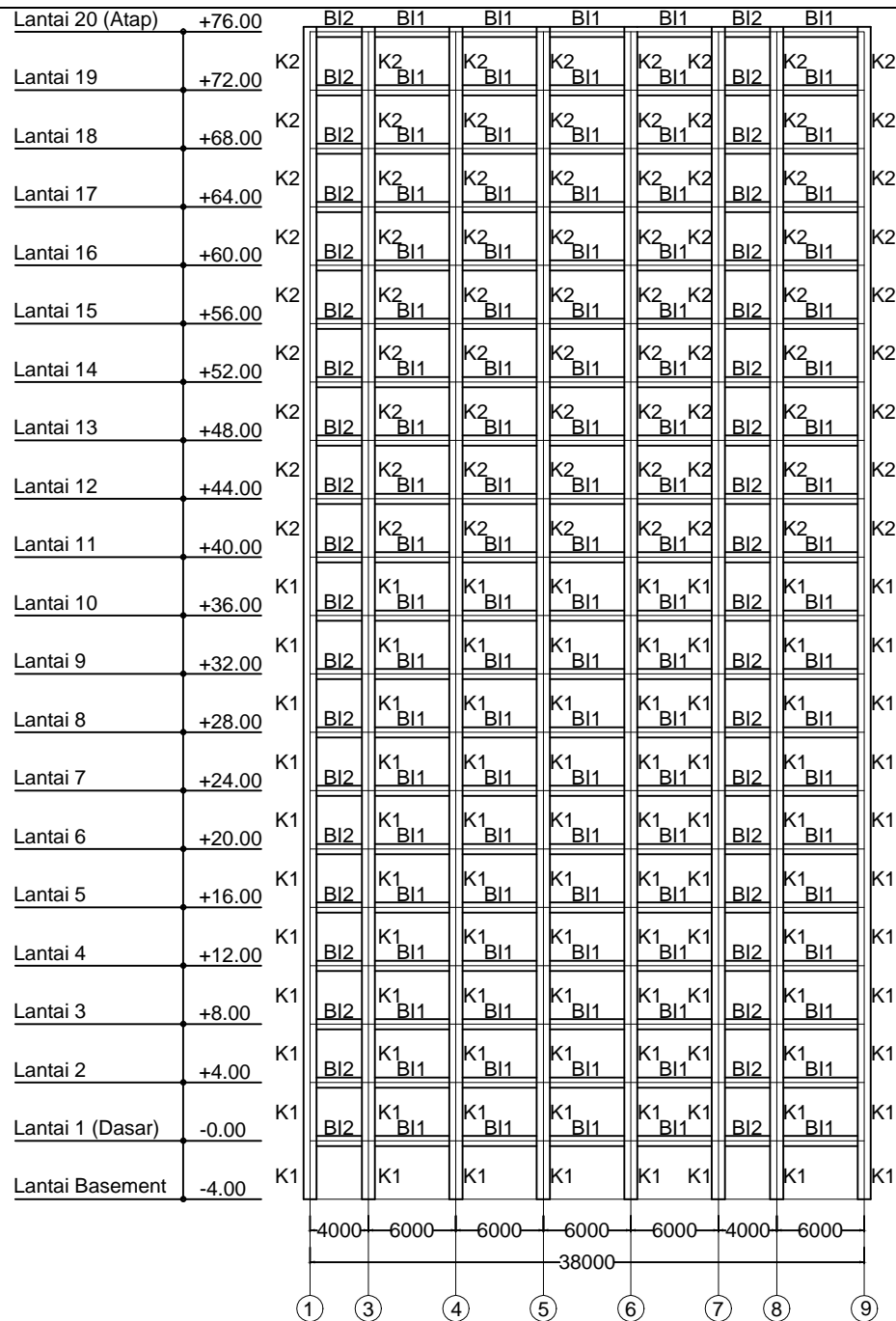
2

30

CATATAN

Tabel Kolom		
No.	Tipe Balok	Dimensi (cm)
1	K1	90/90
2	K2	80/80

Tabel Balok			
No.	Tipe Balok	Dimensi (cm)	Bentang (cm)
1	BI1	50/70	600
2	BI2	50/70	400
3	BI3	50/70	200
4	BI4	50/70	300
5	BI5	50/70	800
6	BA1	30/50	600
7	BA2	30/50	400



Denah Kolom Memanjang
Skala 1:500



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG RUMAH SAKIT UMUM
DAERAH (RSUD) KOJA JAKARTA
DENGAN METODE PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Trie Sony Kusumowibowo

GAMBAR

DENAH KOLOM MEMANJANG

SKALA

1:500

NO. LEMBAR JUMLAH LEMBAR

3

30

CATATAN

Tabel Kolom		
No.	Tipe Balok	Dimensi (cm)
1	K1	90/90
2	K2	80/80

Tabel Balok			
No.	Tipe Balok	Dimensi (cm)	Bentang (cm)
1	BI1	50/70	600
2	BI2	50/70	400
3	BI3	50/70	200
4	BI4	50/70	300
5	BI5	50/70	800
6	BA1	30/50	600
7	BA2	30/50	400



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG RUMAH SAKIT UMUM
DAERAH (RSUD) KOJA JAKARTA
DENGAN METODE PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Trie Sony Kusumowibowo

GAMBAR

DETAIL PENULANGAN BALOK
ANAK

SKALA

1:25

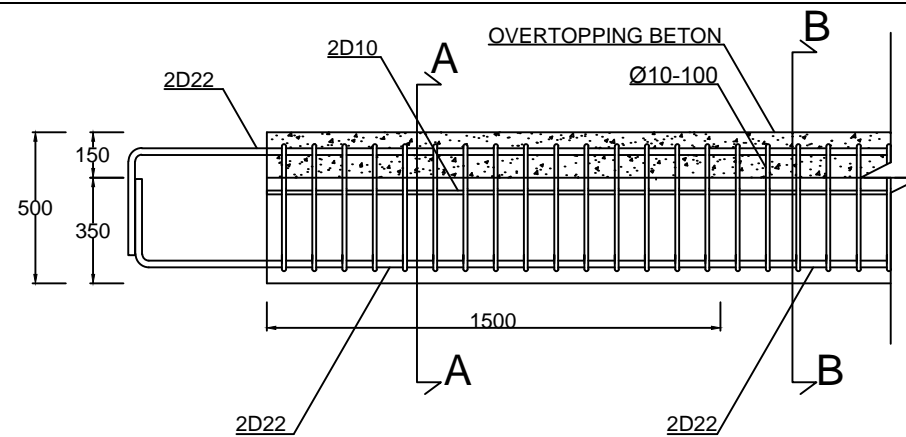
NO. LEMBAR

JUMLAH LEMBAR

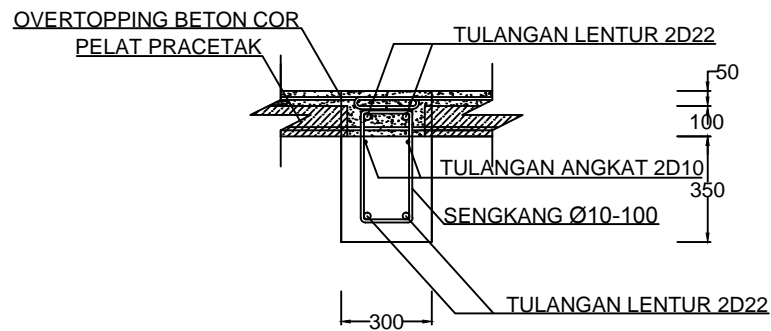
4

30

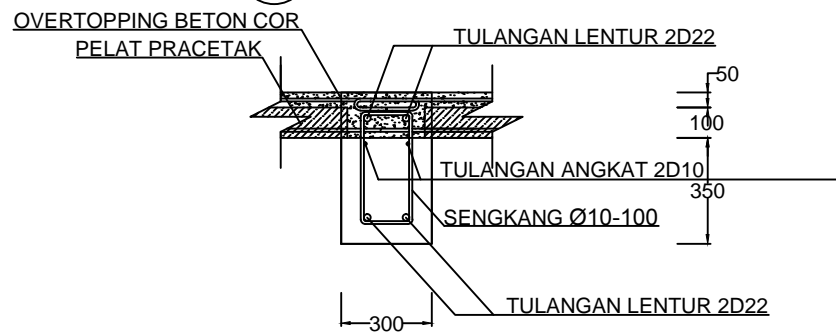
CATATAN



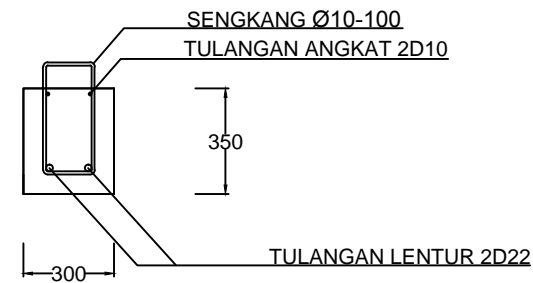
Detail BA1 Setelah Komposit
Skala 1:25



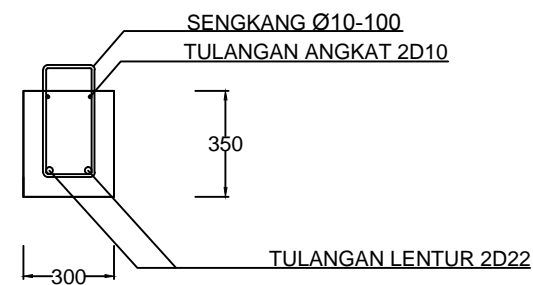
Detail Potongan A-A Setelah Komposit
Skala 1:25



Detail Potongan B-B Setelah Komposit
Skala 1:25



Detail Potongan A-A Sebelum Komposit
Skala 1:25



Detail Potongan B-B Sebelum Komposit
Skala 1:25



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG RUMAH SAKIT UMUM
DAERAH (RSUD) KOJA JAKARTA
DENGAN METODE PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Trie Sony Kusumowibowo

GAMBAR

DETAIL PENULANGAN BALOK
ANAK

SKALA

1:25

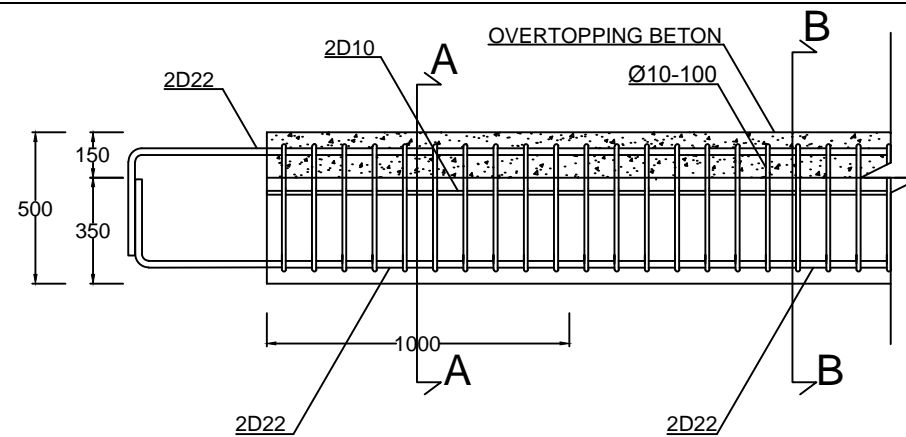
NO. LEMBAR

JUMLAH LEMBAR

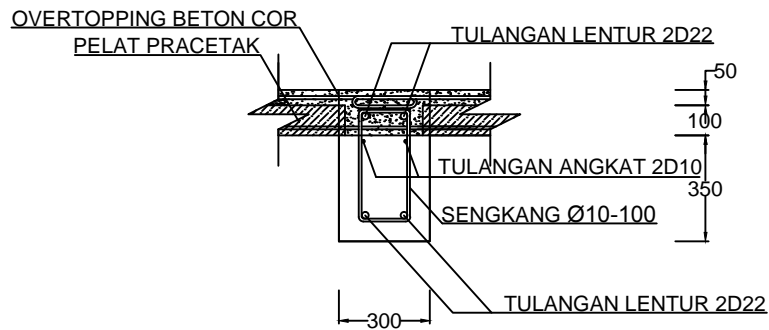
5

30

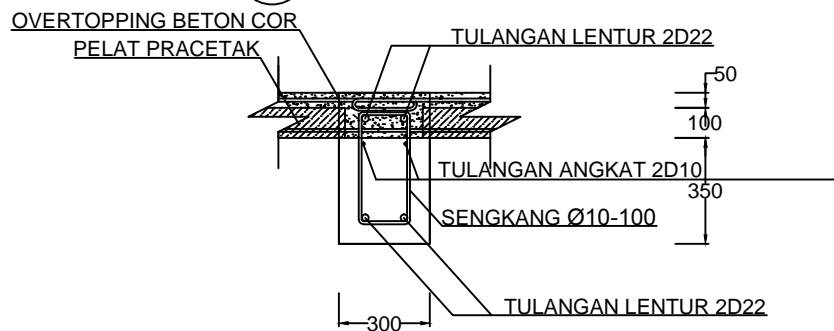
CATATAN



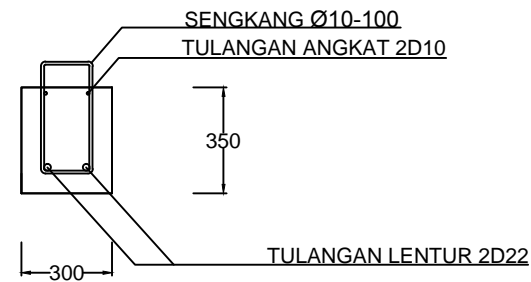
Detail BA2 Setelah Komposit
Skala 1:25



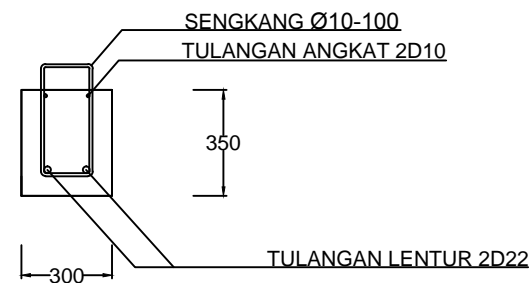
Detail Potongan A-A Setelah Komposit
Skala 1:25



Detail Potongan B-B Setelah Komposit
Skala 1:25



Detail Potongan A-A Sebelum Komposit
Skala 1:25



Detail Potongan B-B Sebelum Komposit
Skala 1:25



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG RUMAH SAKIT UMUM
DAERAH (RSUD) KOJA JAKARTA
DENGAN METODE PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Trie Sony Kusumowibowo

GAMBAR

DETAIL PENULANGAN BALOK
INDUK

SKALA

1:25

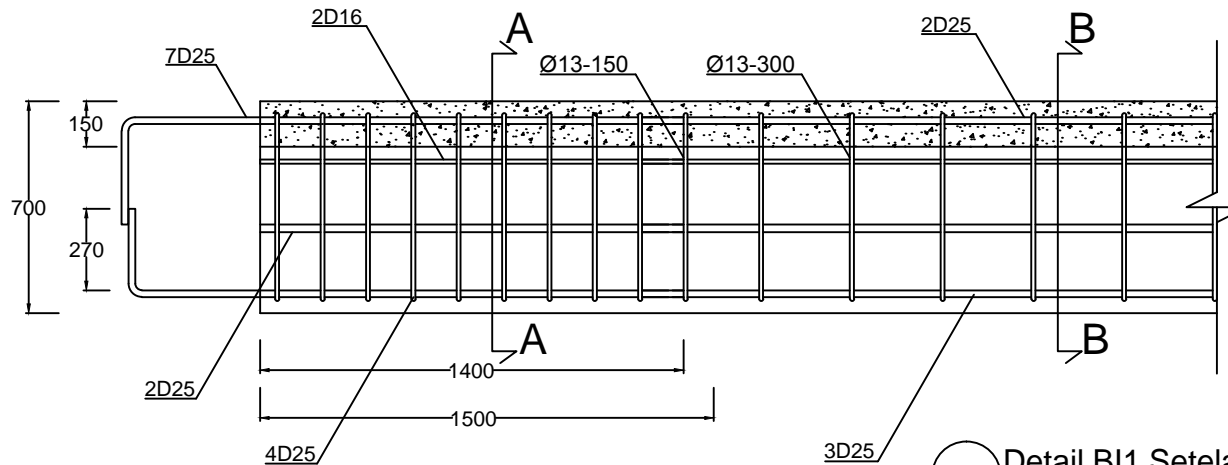
NO. LEMBAR

JUMLAH LEMBAR

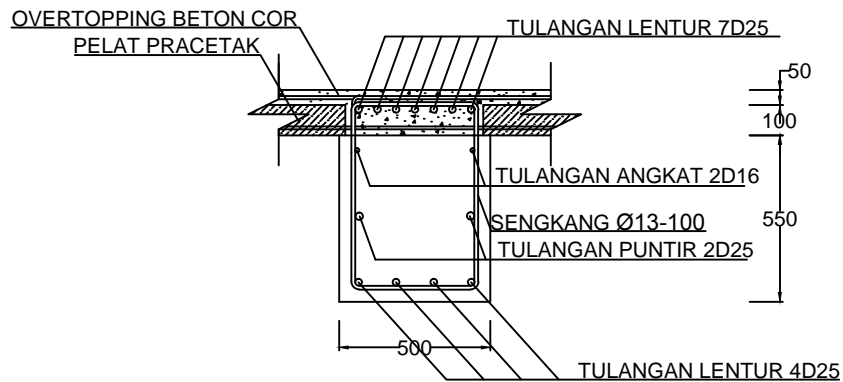
6

30

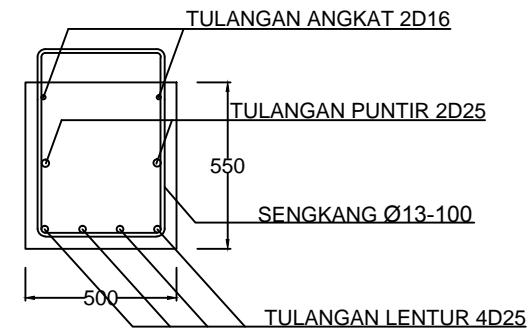
CATATAN



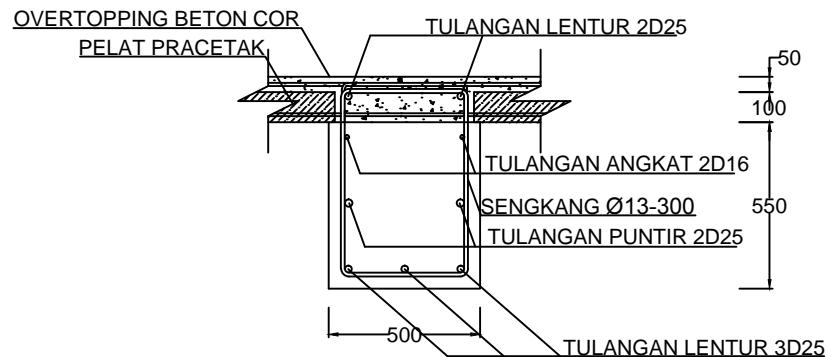
Detail Bl1 Setelah Komposit
Skala 1:25



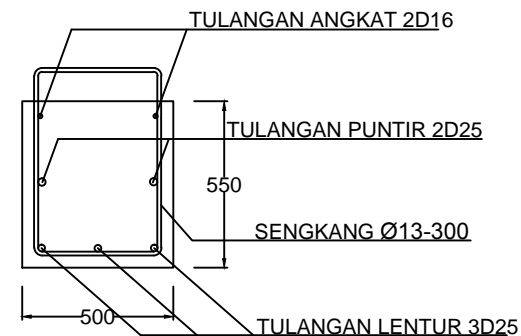
Detail Potongan A-A Setelah Komposit
Skala 1:25



Detail Potongan A-A Sebelum Komposit
Skala 1:25



Detail Potongan B-B Setelah Komposit
Skala 1:25



Detail Potongan B-B Sebelum Komposit
Skala 1:25



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG RUMAH SAKIT UMUM
DAERAH (RSUD) KOJA JAKARTA
DENGAN METODE PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Trie Sony Kusumowibowo

GAMBAR

DETAIL PENULANGAN BALOK
INDUK

SKALA

1:25

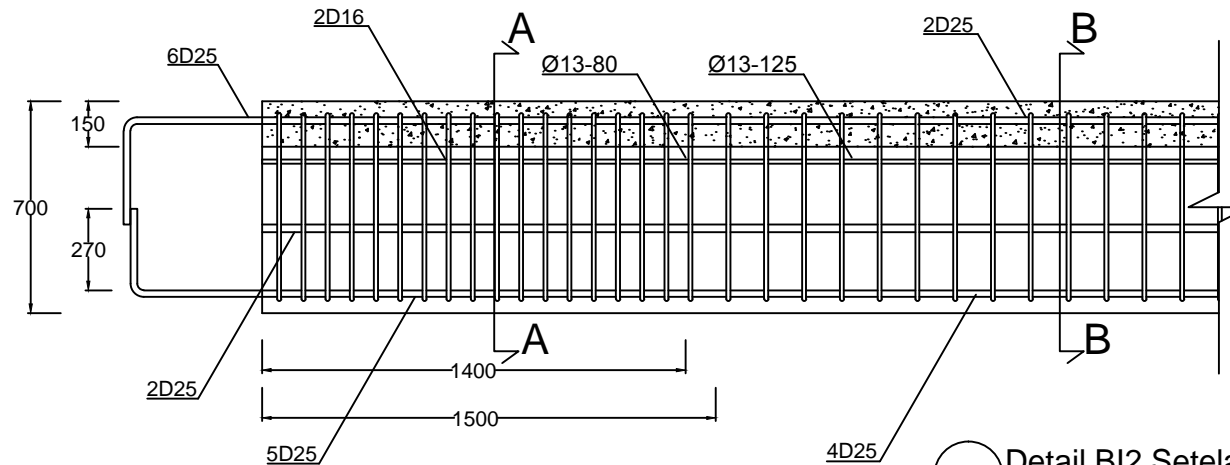
NO. LEMBAR

JUMLAH LEMBAR

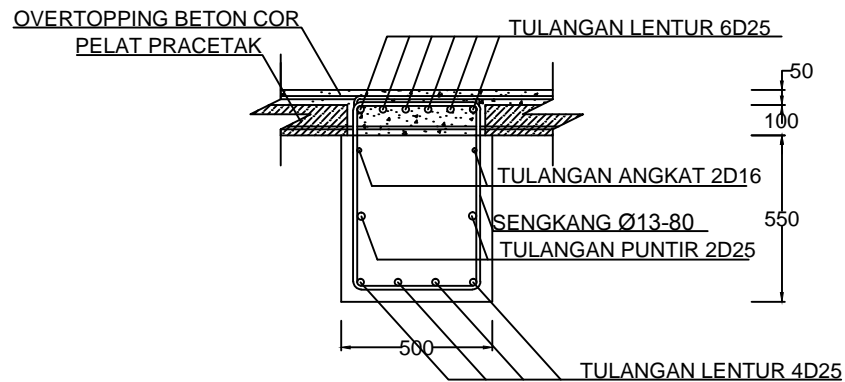
7

30

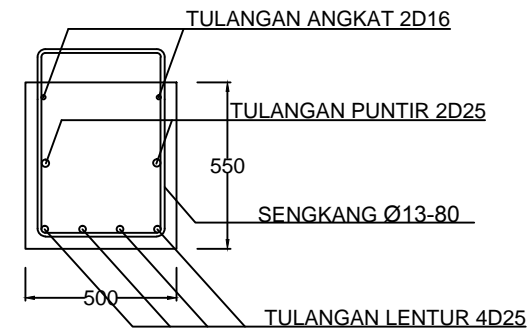
CATATAN



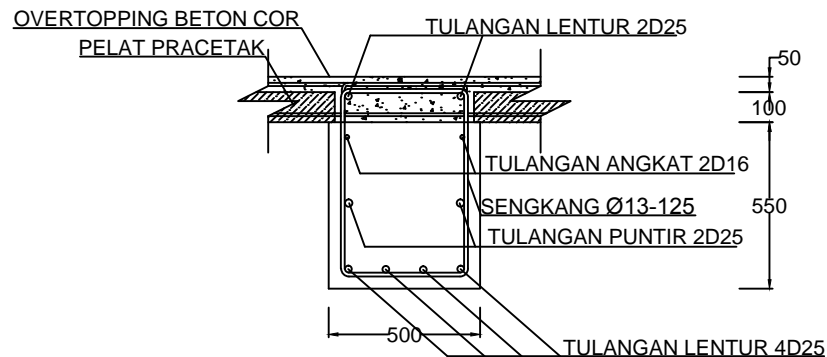
Detail Bl2 Setelah Komposit
Skala 1:25



Detail Potongan A-A Setelah Komposit
Skala 1:25



Detail Potongan A-A Sebelum Komposit
Skala 1:25



Detail Potongan B-B Setelah Komposit
Skala 1:25



Detail Potongan B-B Sebelum Komposit
Skala 1:25



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG RUMAH SAKIT UMUM
DAERAH (RSUD) KOJA JAKARTA
DENGAN METODE PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Trie Sony Kusumowibowo

GAMBAR

DETAIL PENULANGAN BALOK
INDUK

SKALA

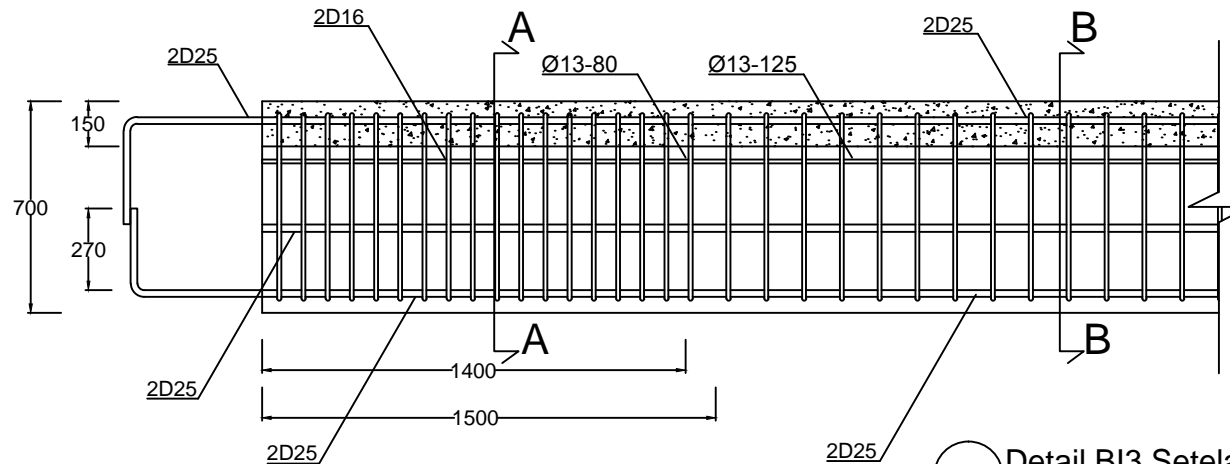
1:25

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
------------	---------------

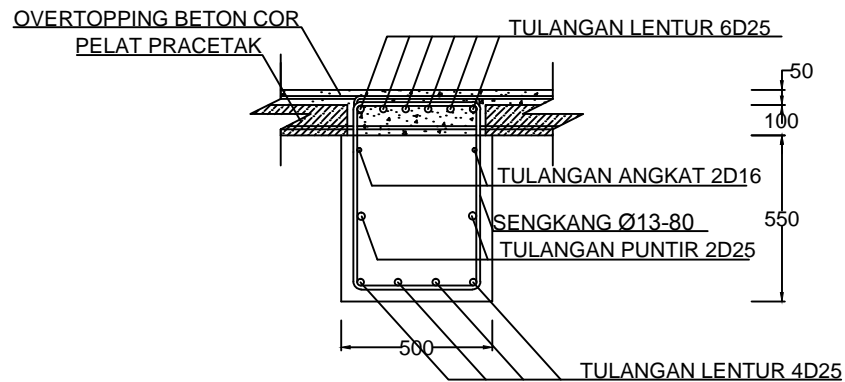
8

30

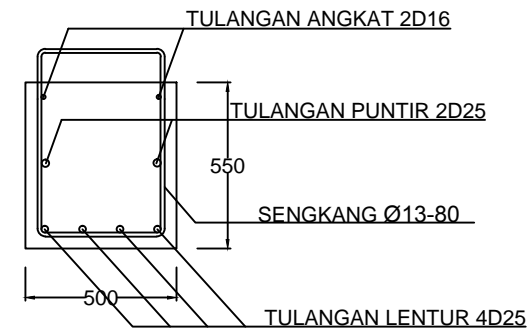
CATATAN



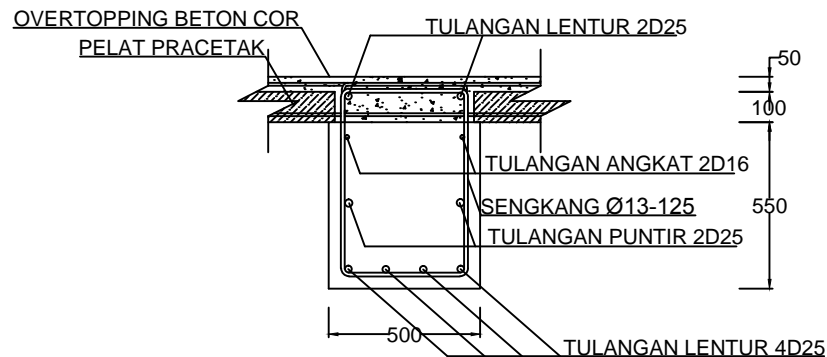
Detail B13 Setelah Komposit
Skala 1:25



Detail Potongan A-A Setelah Komposit
Skala 1:25



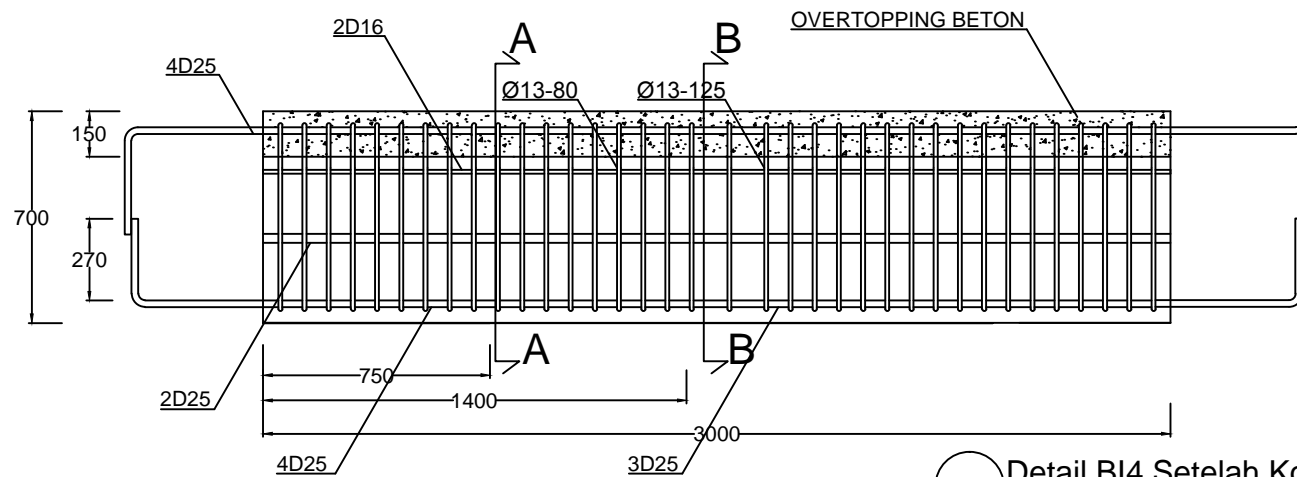
Detail Potongan A-A Sebelum Komposit
Skala 1:25



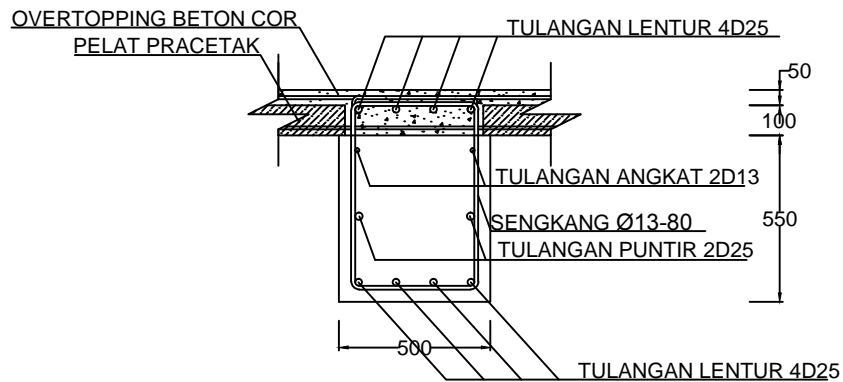
Detail Potongan B-B Setelah Komposit
Skala 1:25



Detail Potongan B-B Sebelum Komposit
Skala 1:25



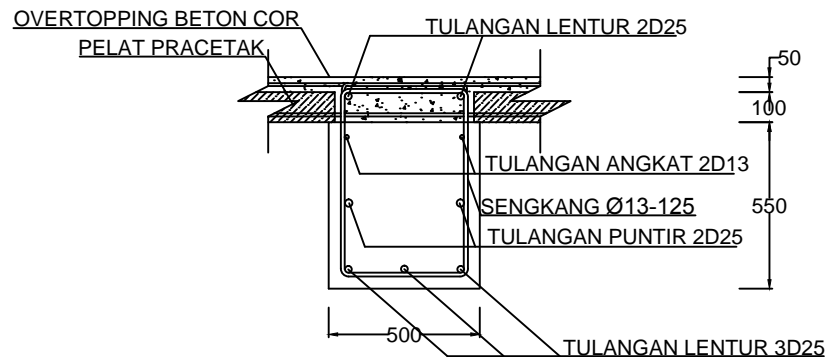
Detail B14 Setelah Komposit
Skala 1:25



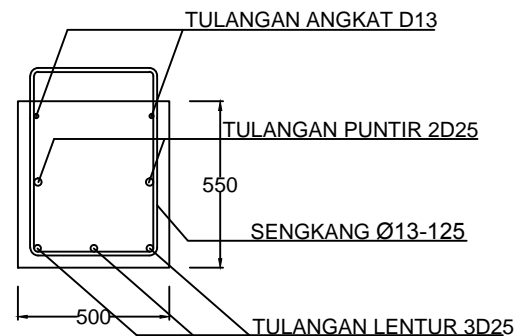
Detail Potongan A-A Setelah Komposit
Skala 1:25



Detail Potongan A-A Sebelum Komposit
Skala 1:25



Detail Potongan B-B Setelah Komposit
Skala 1:25



Detail Potongan B-B Sebelum Komposit
Skala 1:25



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG RUMAH SAKIT UMUM
DAERAH (RSUD) KOJA JAKARTA
DENGAN METODE PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Trie Sony Kusumowibowo

GAMBAR

DETAIL PENULANGAN BALOK
INDUK

SKALA

1:25

NO. LEMBAR

9

JUMLAH LEMBAR

30

CATATAN



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG RUMAH SAKIT UMUM
DAERAH (RSUD) KOJA JAKARTA
DENGAN METODE PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Trie Sony Kusumowibowo

GAMBAR

DETAIL PENULANGAN BALOK
INDUK

SKALA

1:25

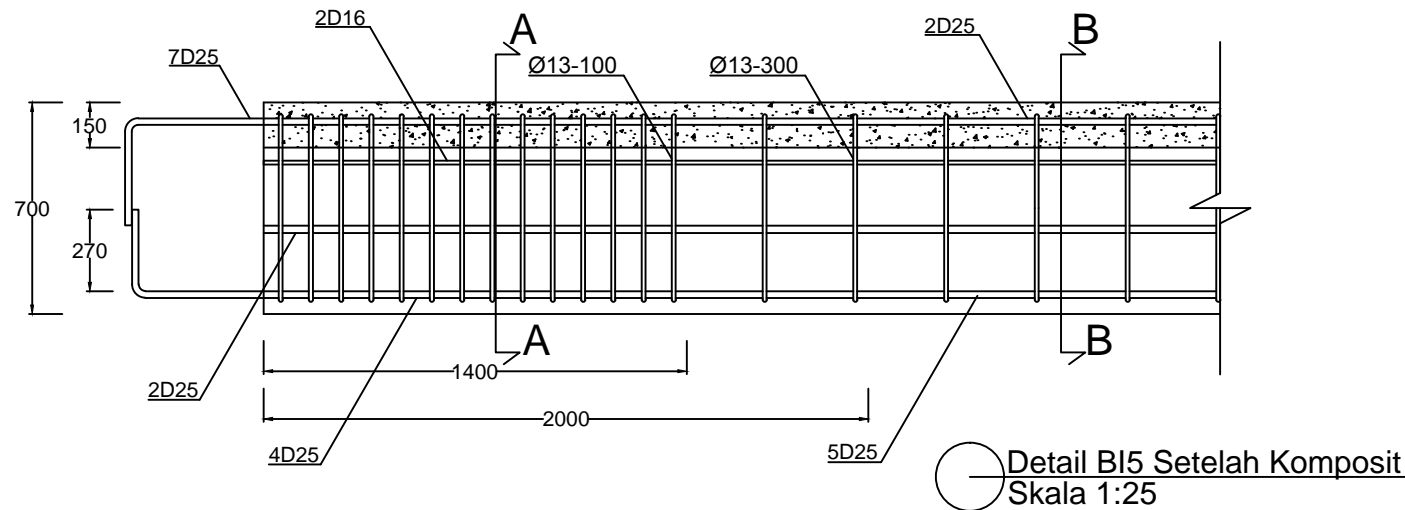
NO. LEMBAR

JUMLAH LEMBAR

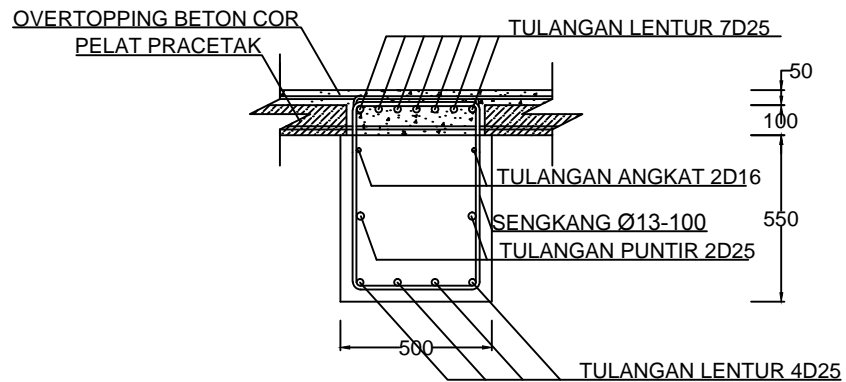
10

30

CATATAN



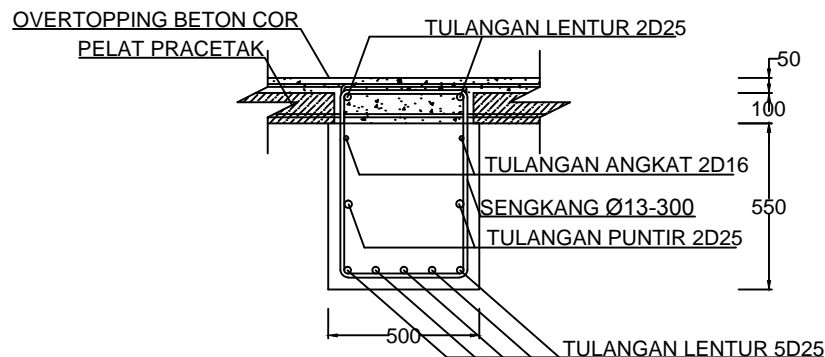
Detail Bl5 Setelah Komposit
Skala 1:25



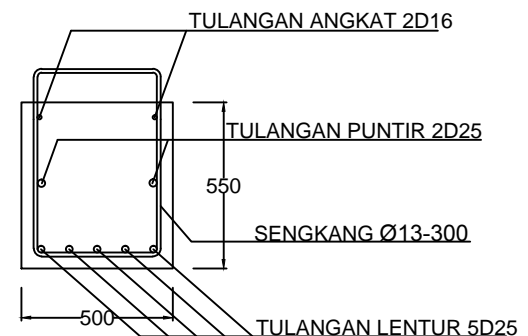
Detail Potongan A-A Setelah Komposit
Skala 1:25



Detail Potongan A-A Sebelum Komposit
Skala 1:25



Detail Potongan B-B Setelah Komposit
Skala 1:25



Detail Potongan B-B Sebelum Komposit
Skala 1:25



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG RUMAH SAKIT UMUM
DAERAH (RSUD) KOJA JAKARTA
DENGAN METODE PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Trie Sony Kusumowibowo

GAMBAR

DENAH PELAT LANTAI

SKALA

1:250

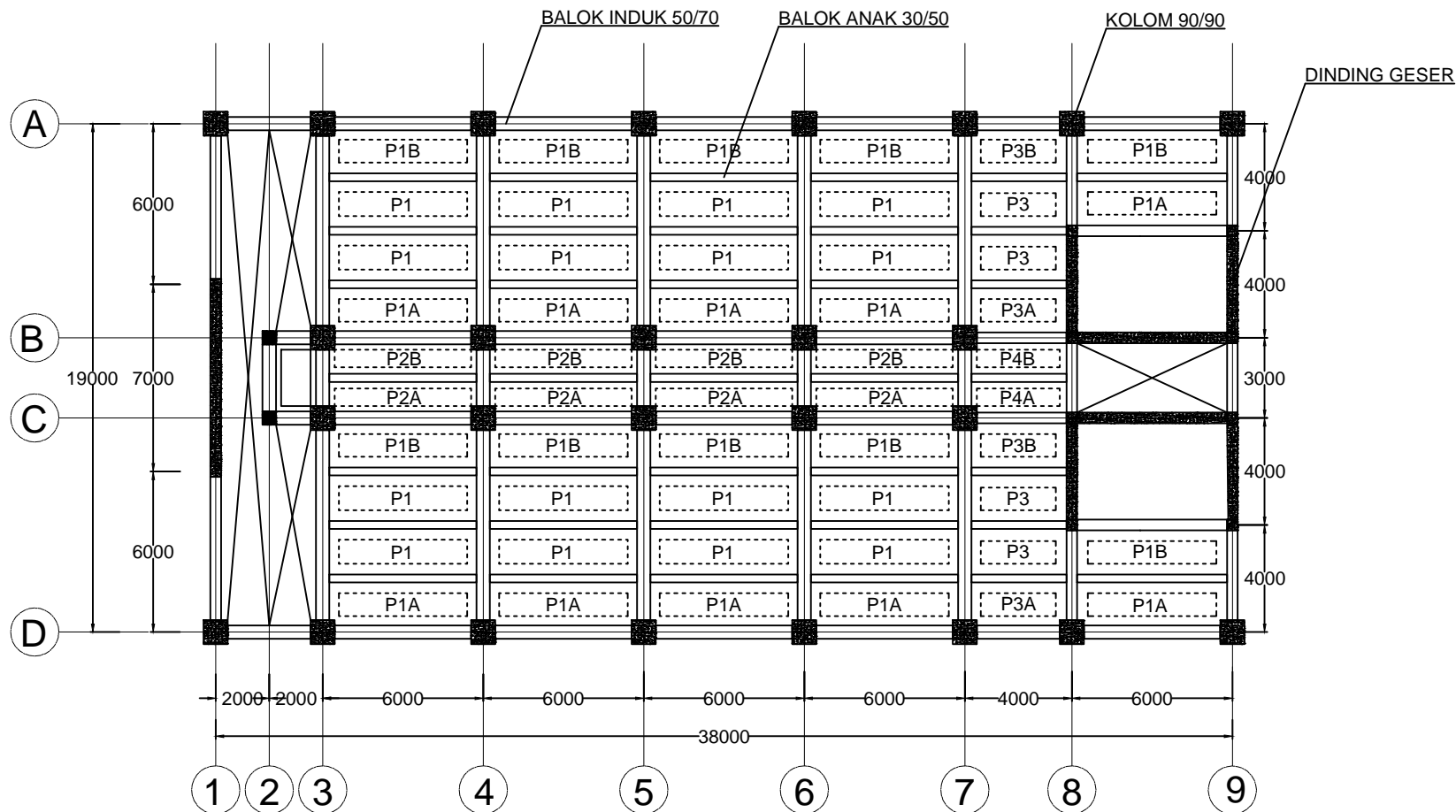
NO. LEMBAR

11

JUMLAH LEMBAR

30

CATATAN



Denah Pelat Pracetak Lantai
Skala 1:250

Tabel Pelat

No.	Tipe Pelat	Dimensi (cm)	Tebal (cm)
1	P1	600 x 200	15
2	P2	600 x 150	15
3	P3	400 x 200	15
4	P4	400 x 150	15



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG RUMAH SAKIT UMUM
DAERAH (RSUD) KOJA JAKARTA
DENGAN METODE PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Trie Sony Kusumowibowo

GAMBAR

DETAIL PENULANGAN PELAT

SKALA

1:50 & 1:100

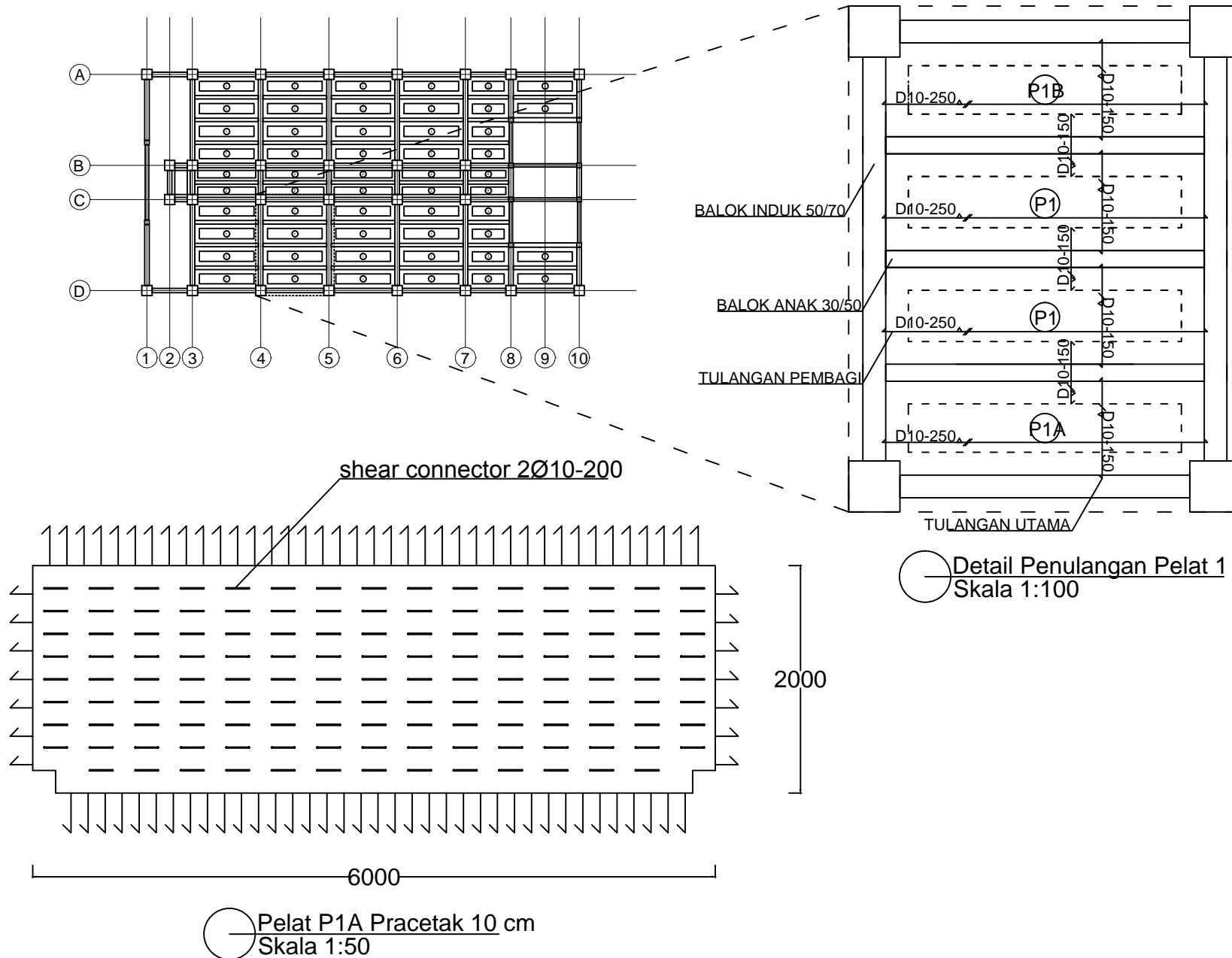
NO. LEMBAR

12

JUMLAH LEMBAR

30

CATATAN





JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG RUMAH SAKIT UMUM
DAERAH (RSUD) KOJA JAKARTA
DENGAN METODE PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Trie Sony Kusumowibowo

GAMBAR

DETAIL PENULANGAN PELAT

SKALA

1:50 & 1:100

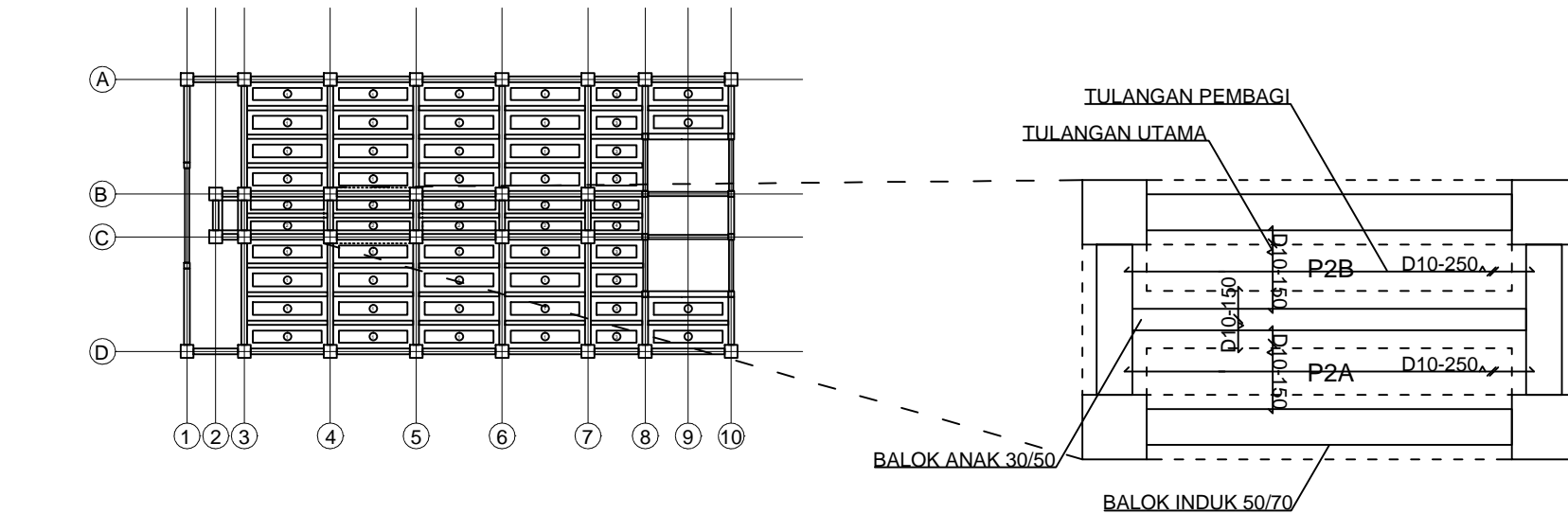
NO. LEMBAR

13

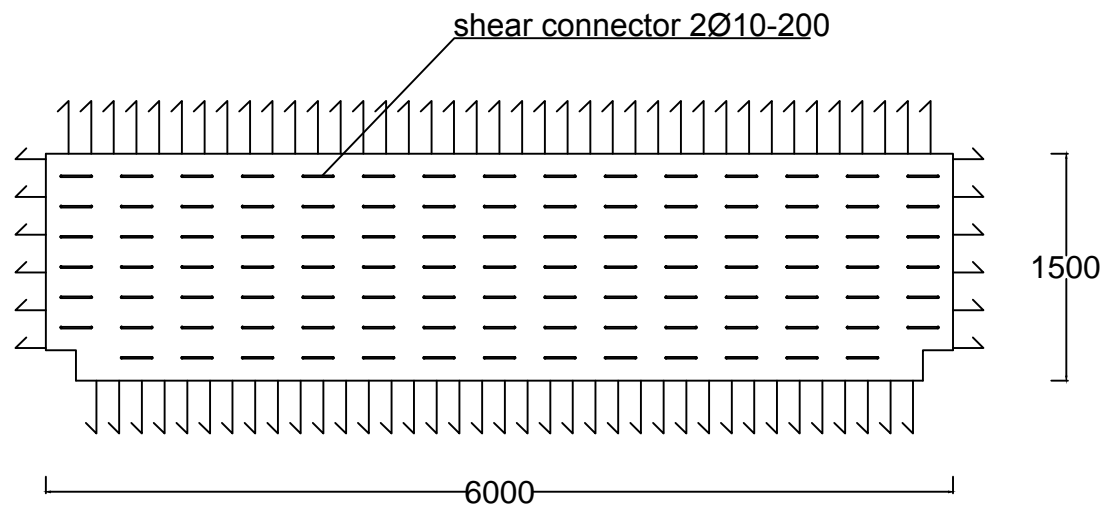
JUMLAH LEMBAR

30

CATATAN



Detail Penulangan Pelat 2
Skala 1:100



Pelat P2A Pracetak 10 cm
Skala 1:50



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG RUMAH SAKIT UMUM
DAERAH (RSUD) KOJA JAKARTA
DENGAN METODE PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Trie Sony Kusumowibowo

GAMBAR

DETAIL PENULANGAN PELAT

SKALA

1:50 & 1:100

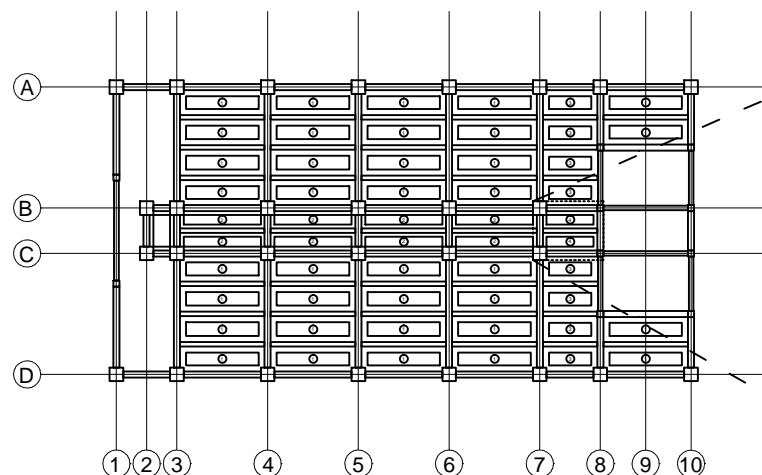
NO. LEMBAR

14

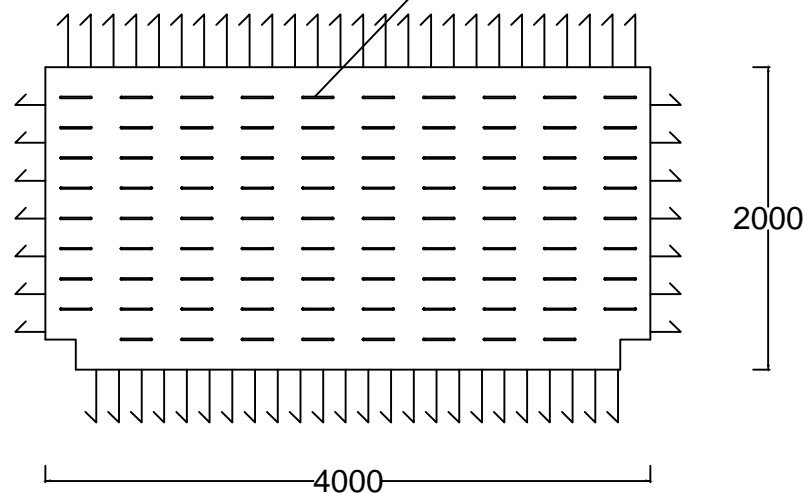
JUMLAH LEMBAR

30

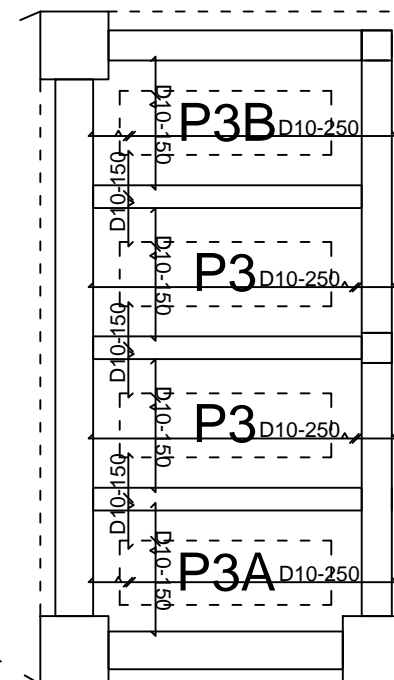
CATATAN



shear connector 2Ø10-200



Pelat P3A Pracetak 10 cm
Skala 1:50



Detail Penulangan Pelat 3
Skala 1:100



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG RUMAH SAKIT UMUM
DAERAH (RSUD) KOJA JAKARTA
DENGAN METODE PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Trie Sony Kusumowibowo

GAMBAR

DETAIL PENULANGAN PELAT

SKALA

1:50 & 1:100

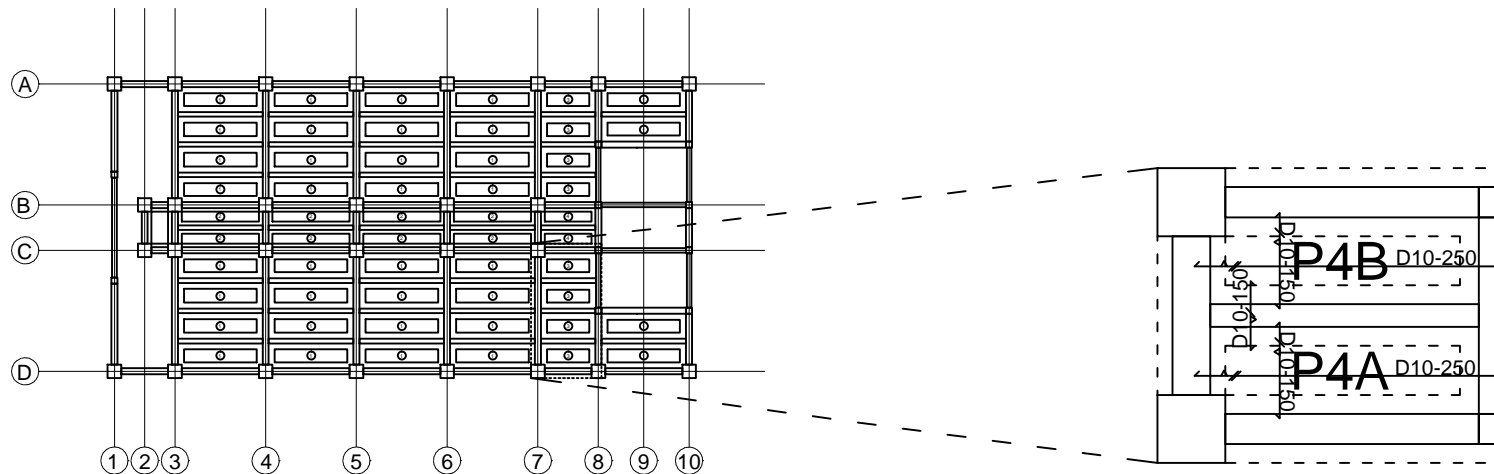
NO. LEMBAR

JUMLAH LEMBAR

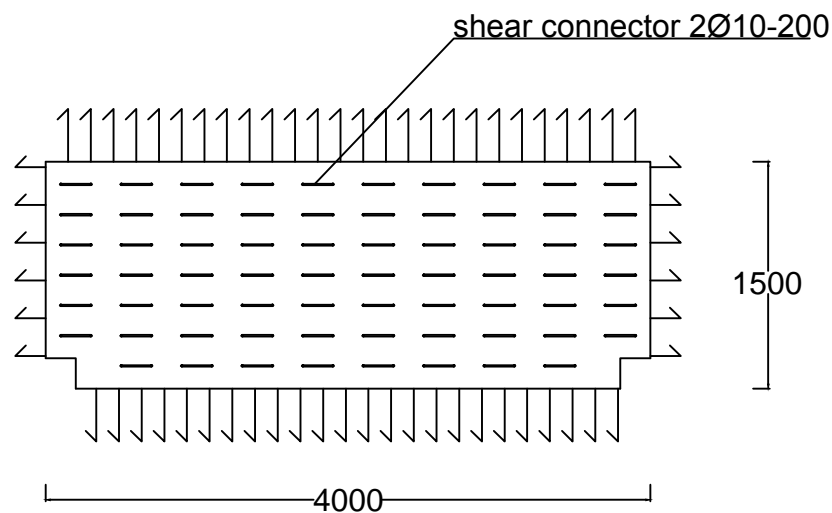
15

30

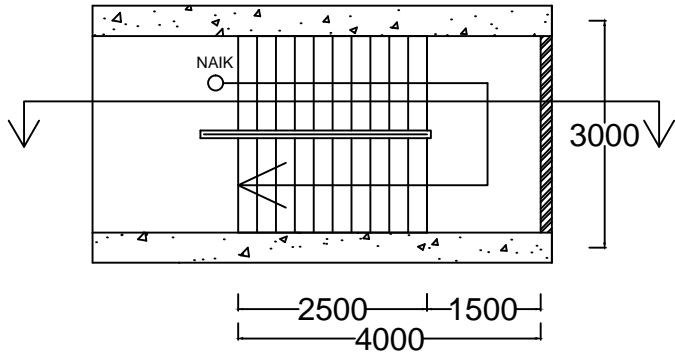
CATATAN



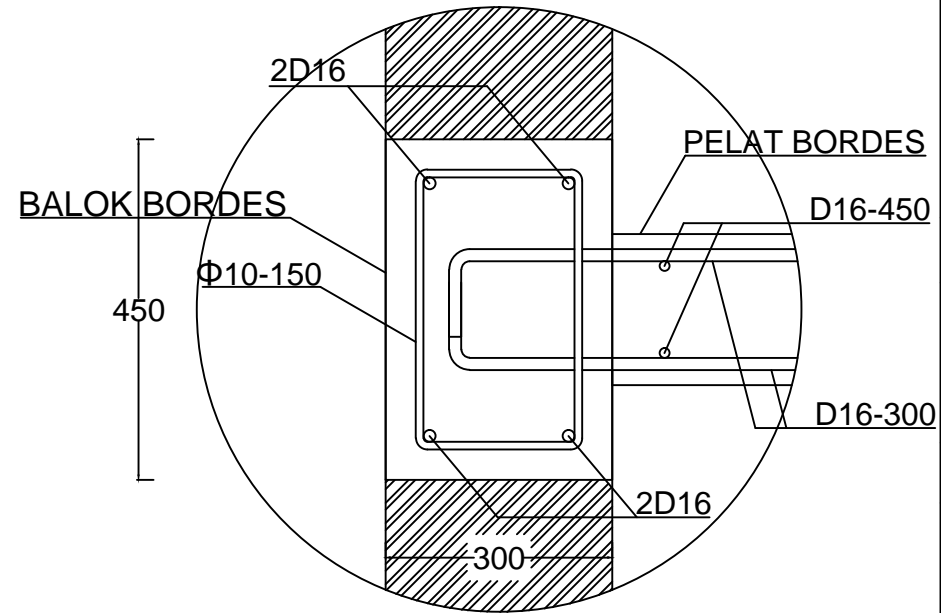
Detail Penulangan Pelat 4
Skala 1:100



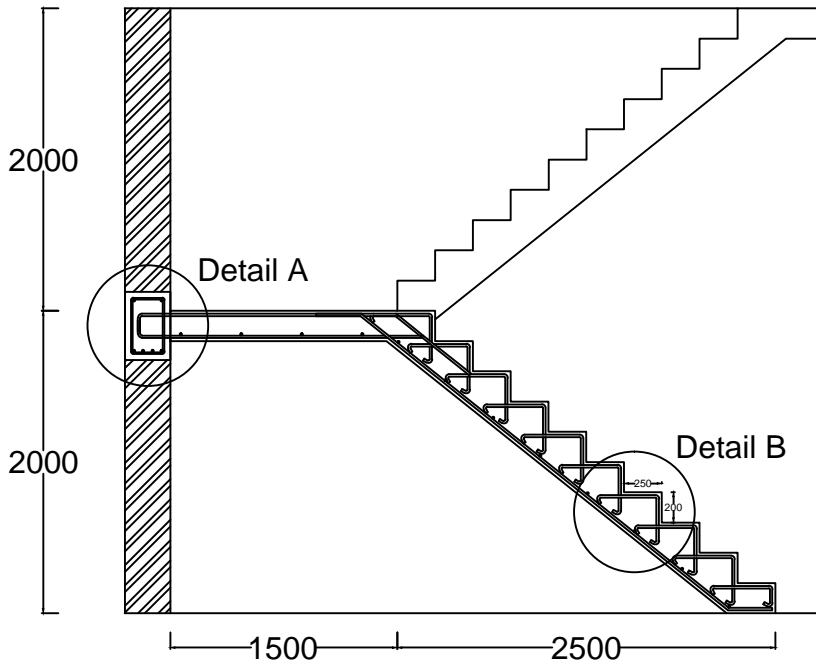
Pelat P4A Pracetak 10 cm
Skala 1:50



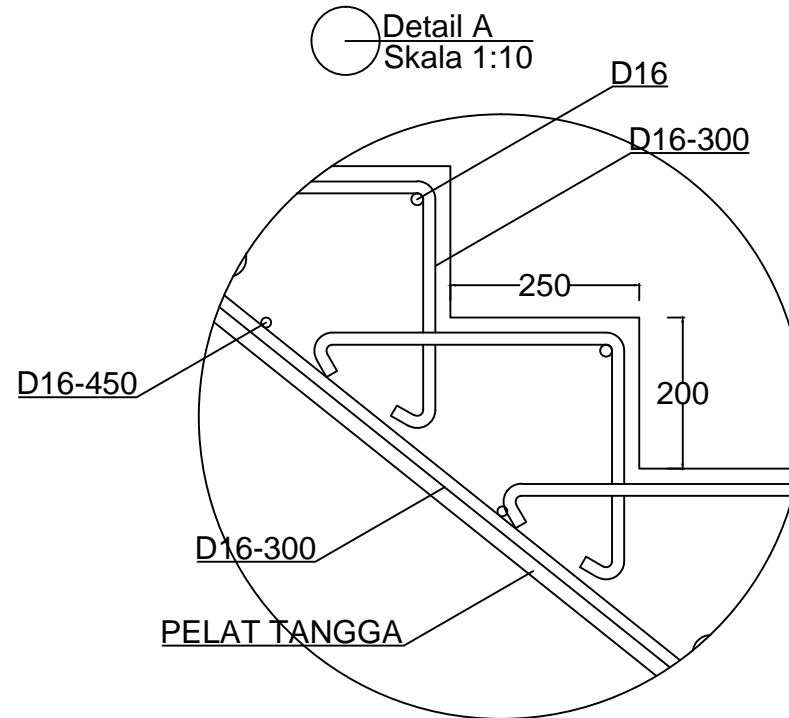
Tampak Atas Tangga
Skala 1:100



Detail A
Skala 1:10



Potongan Tangga
Skala 1:50



Detail B
Skala 1:10



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG RUMAH SAKIT UMUM
DAERAH (RSUD) KOJA JAKARTA
DENGAN METODE PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Trie Sony Kusumowibowo

GAMBAR

DETAIL TANGGA (COR
SETEMPAT)

SKALA

1:100, 1:50 & 1:10

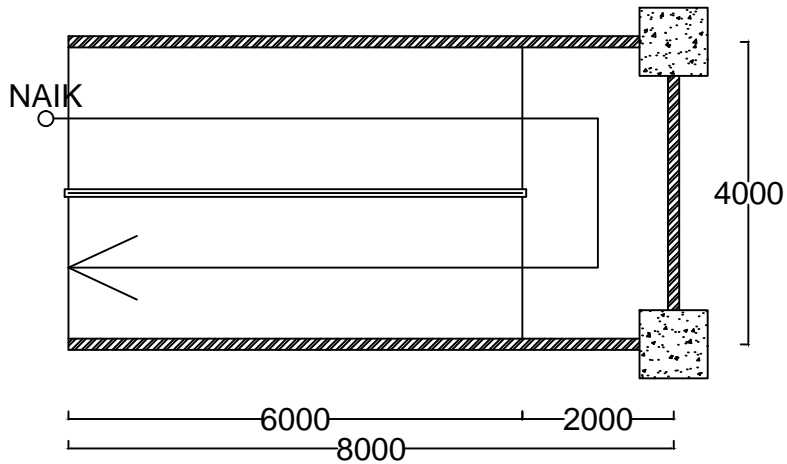
NO. LEMBAR

JUMLAH LEMBAR

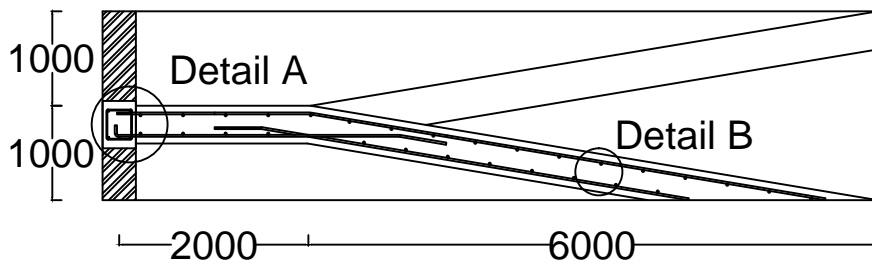
16

30

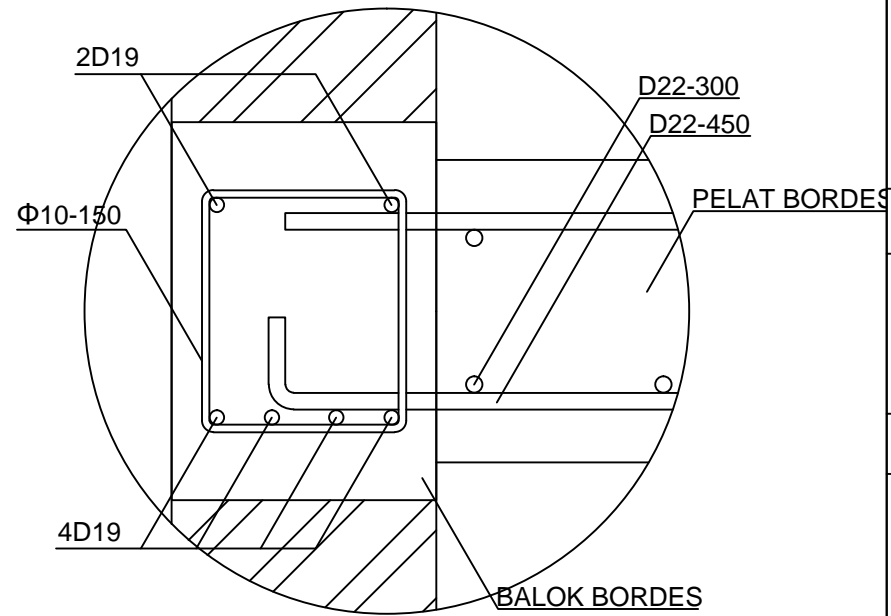
CATATAN



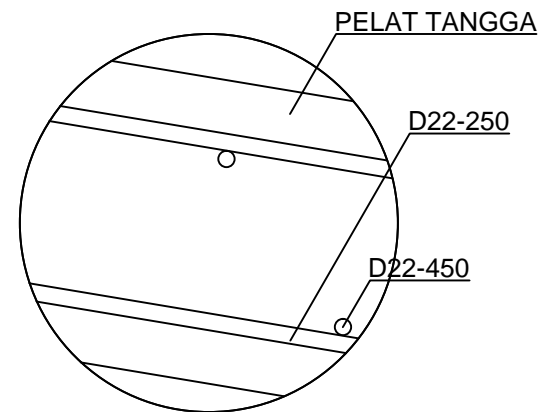
⊙ Tampak Atas Ramp
Skala 1:100



⊙ Potongan Ramp
Skala 1:80



⊙ Detail A
Skala 1:10



⊙ Detail B
Skala 1:10



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG RUMAH SAKIT UMUM
DAERAH (RSUD) KOJA JAKARTA
DENGAN METODE PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Trie Sony Kusumowibowo

GAMBAR

DETAIL RAMP (COR
SETEMPAT)

SKALA

1:100, 1:80 & 1:10

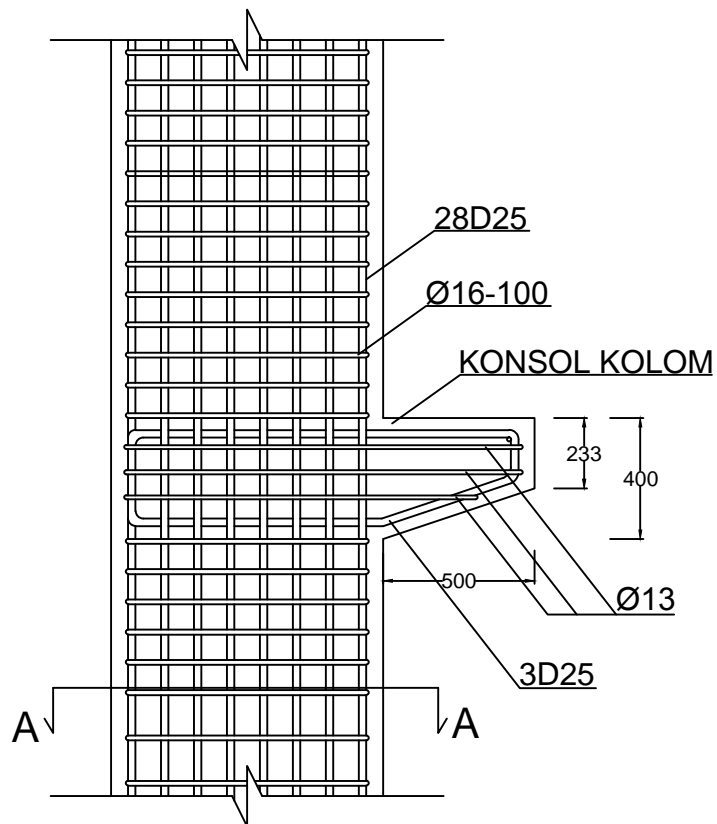
NO. LEMBAR

JUMLAH LEMBAR

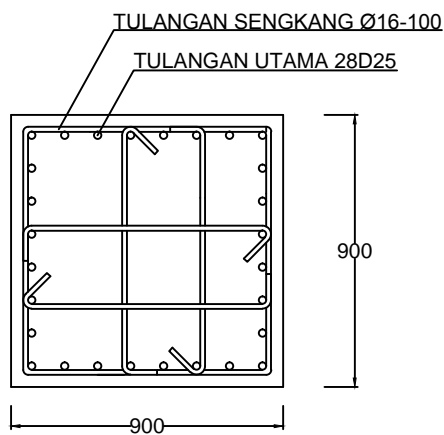
17

30

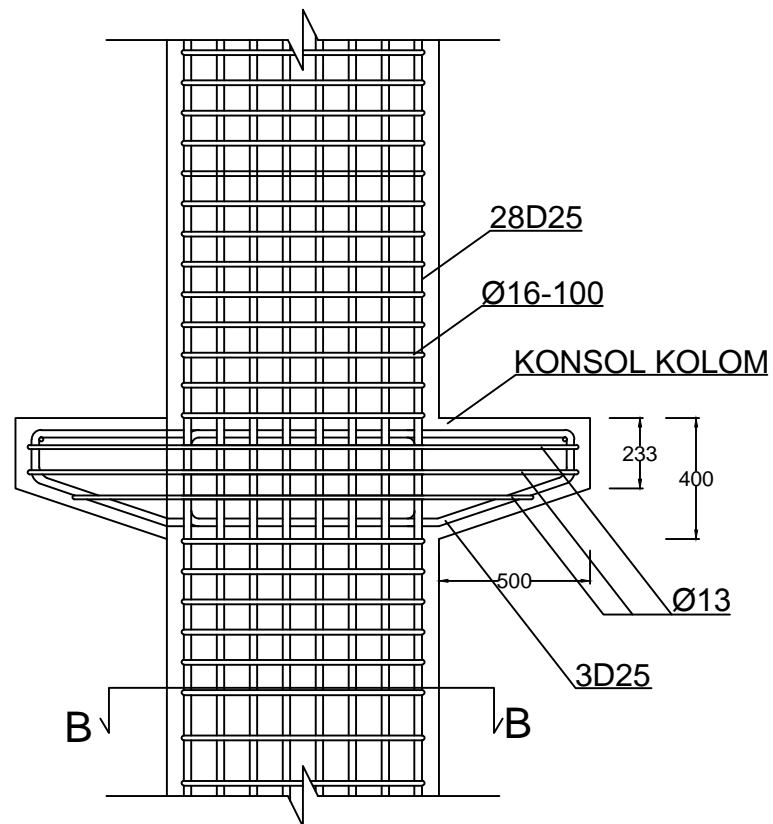
CATATAN



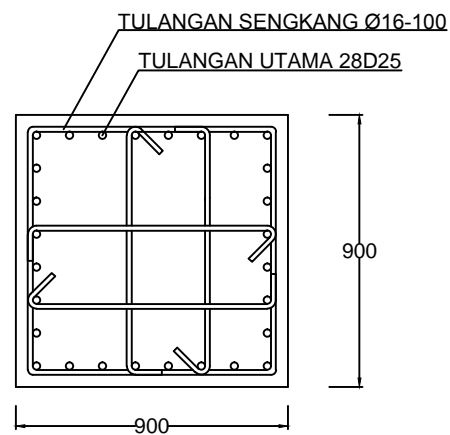
Penulangan Kolom Tipe K1 Eksterior
Skala 1:25



Detail Potongan A-A
Skala 1:25



Penulangan Kolom Tipe K1 Interior
Skala 1:25



Detail Potongan B-B
Skala 1:25



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG RUMAH SAKIT UMUM
DAERAH (RSUD) KOJA JAKARTA
DENGAN METODE PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Trie Sony Kusumowibowo

GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
KOLOM

SKALA

1:25

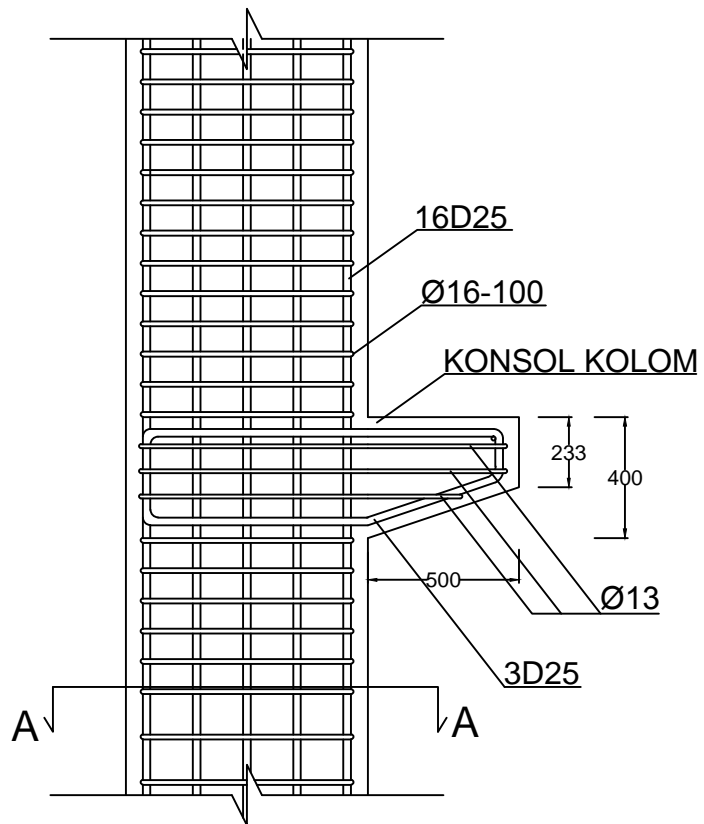
NO. LEMBAR

18

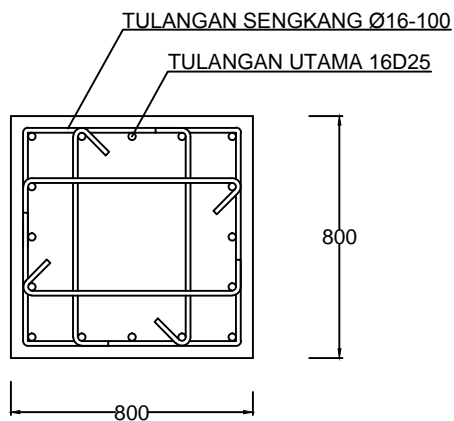
JUMLAH LEMBAR

30

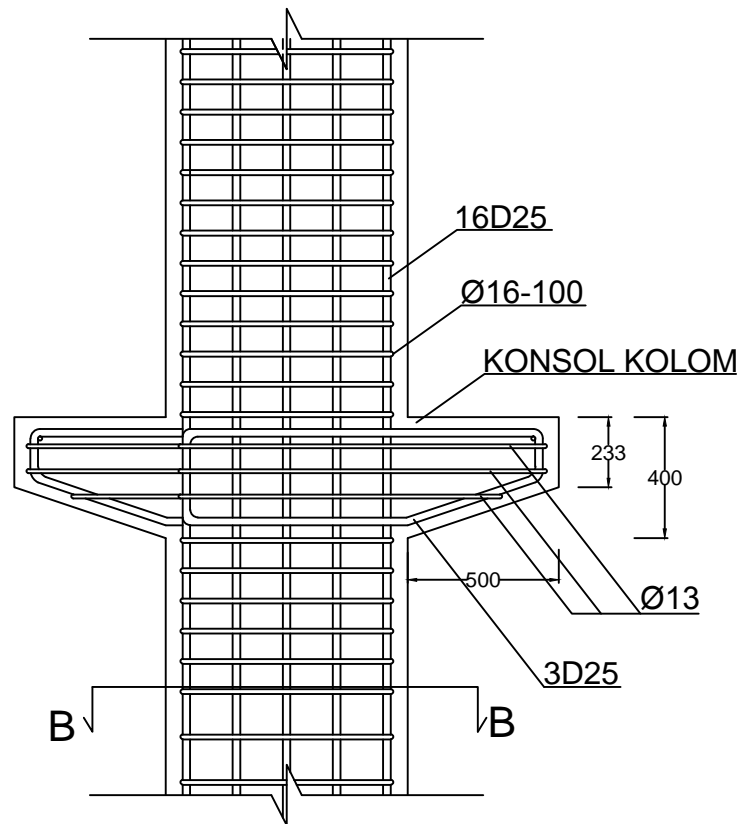
CATATAN



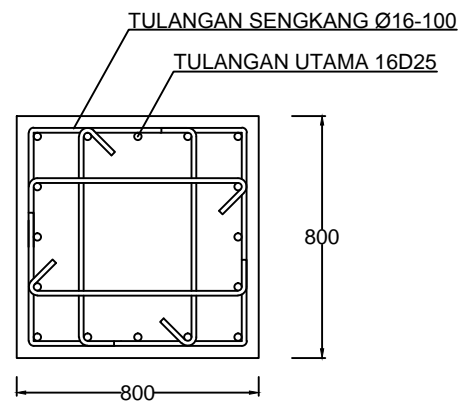
Penulangan Kolom Tipe K2Eksterior
Skala 1:25



Detail Potongan A-A
Skala 1:25



Penulangan Kolom Tipe K2Interior
Skala 1:25



Detail Potongan B-B
Skala 1:25



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG RUMAH SAKIT UMUM
DAERAH (RSUD) KOJA JAKARTA
DENGAN METODE PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Trie Sony Kusumowibowo

GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
KOLOM

SKALA

1:25

NO. LEMBAR

19

JUMLAH LEMBAR

30

CATATAN



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

**MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG RUMAH SAKIT UMUM
DAERAH (RSUD) KOJA JAKARTA
DENGAN METODE PRACETAK**

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Trie Sony Kusumowibowo

GAMBAR

DETAIL DINDING GESER

SKALA

1:50

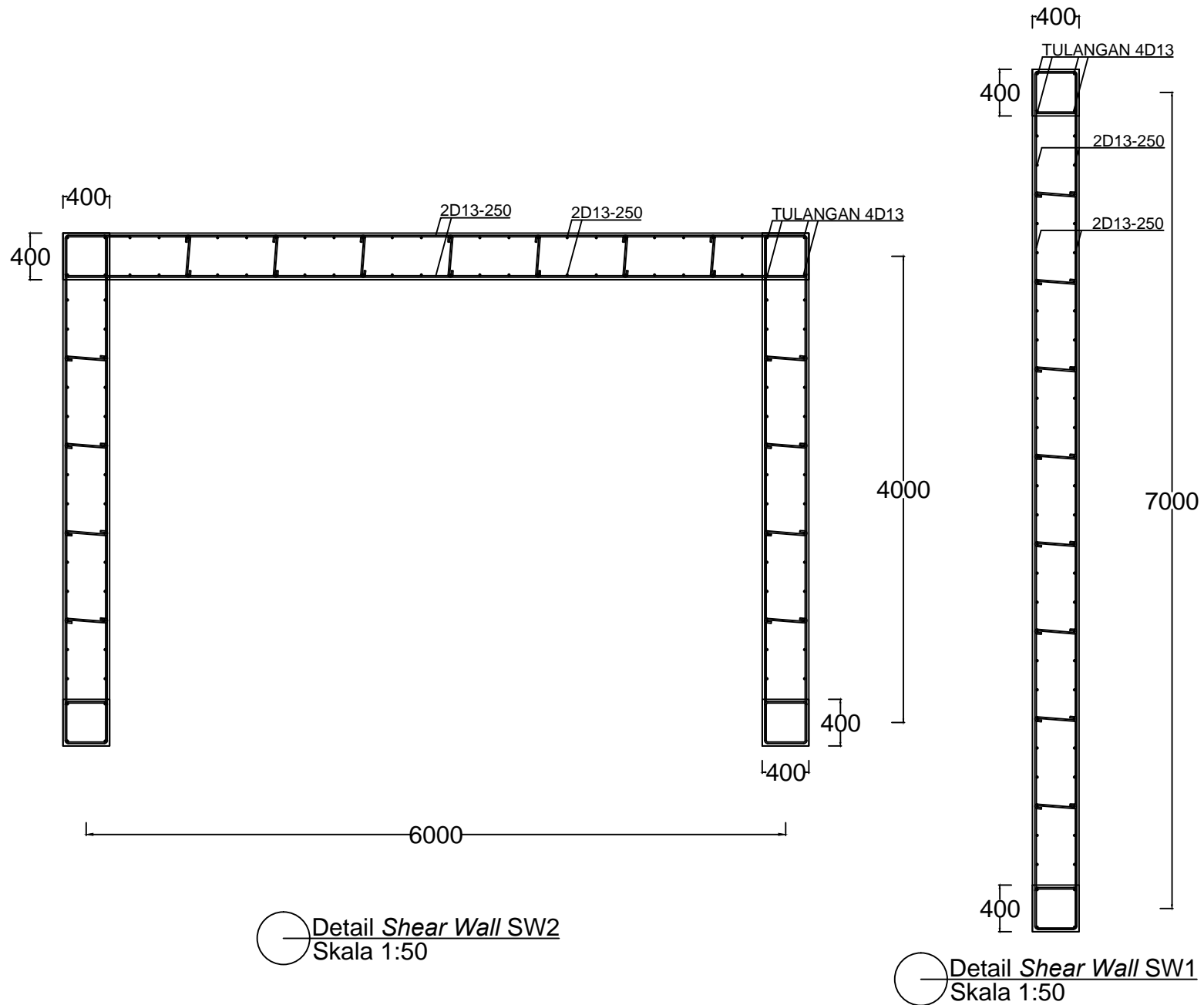
NO. LEMBAR

20

JUMLAH LEMBAR

30

CATATAN





JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG RUMAH SAKIT UMUM
DAERAH (RSUD) KOJA JAKARTA
DENGAN METODE PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Trie Sony Kusumowibowo

GAMBAR

SAMBUNGAN BALOK INDUK
DAN BALOK ANAK

SKALA

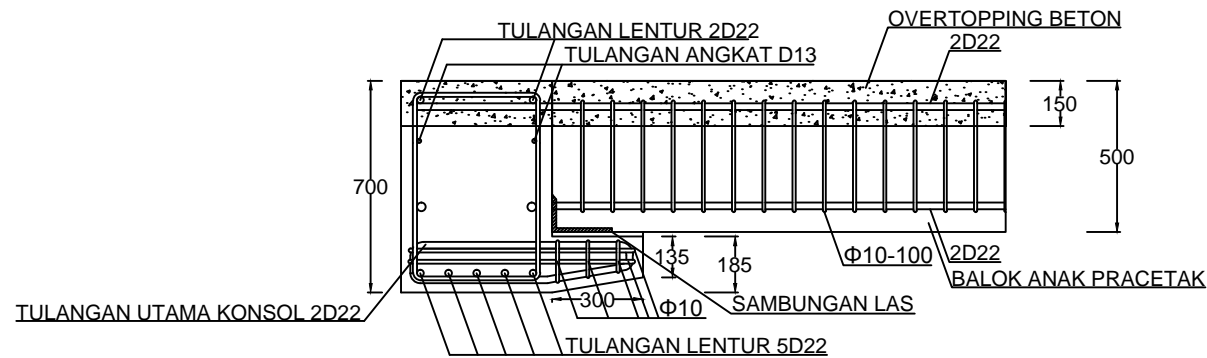
1:25

NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
------------	---------------

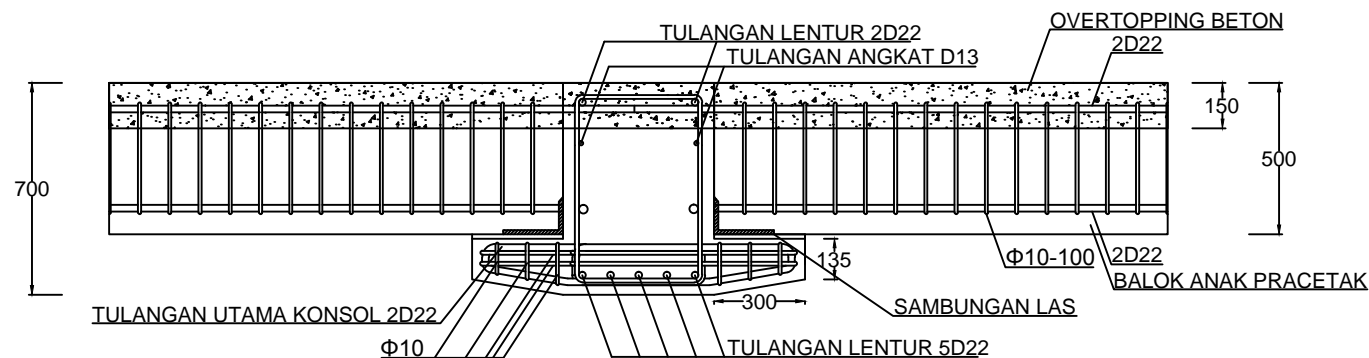
21

30

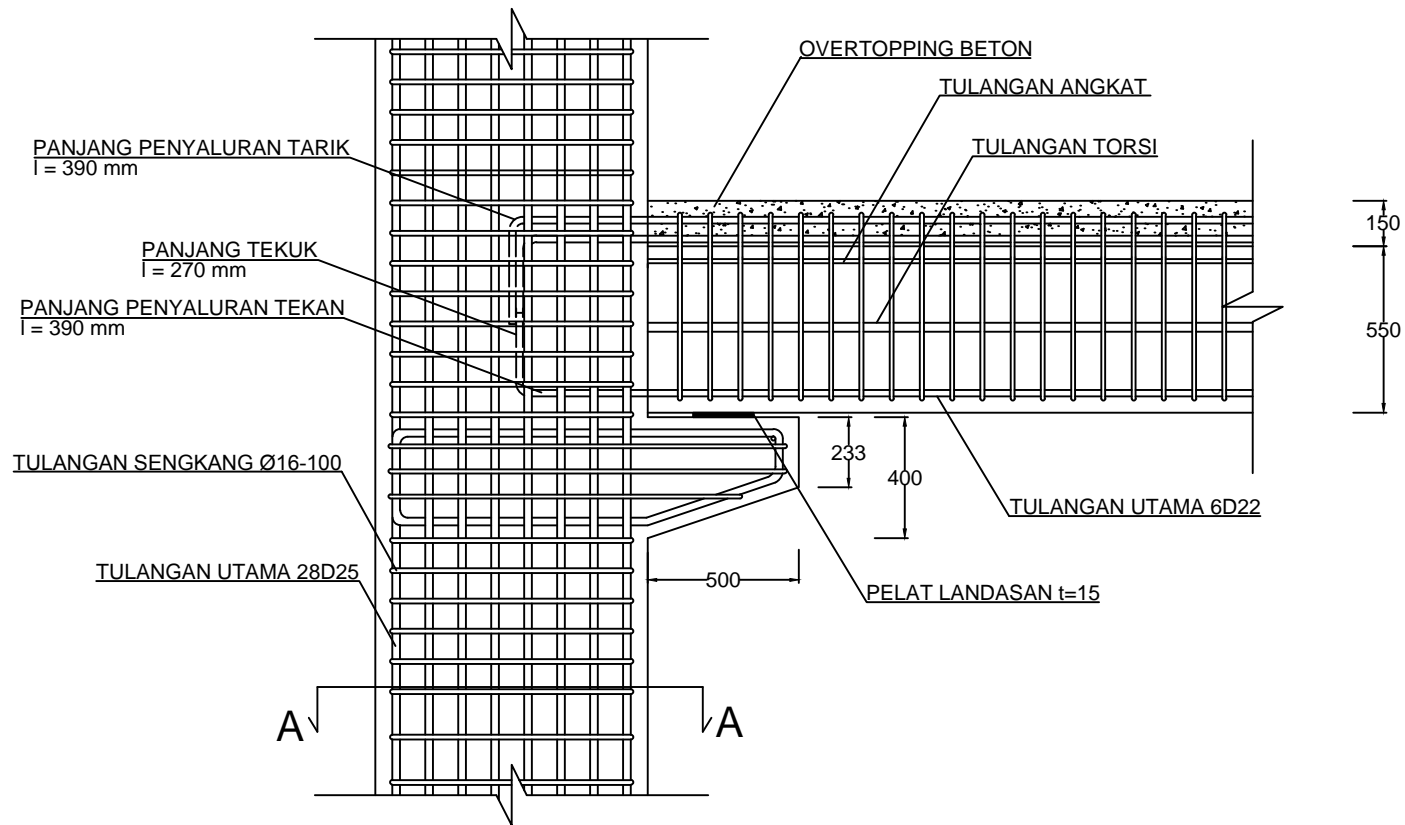
CATATAN



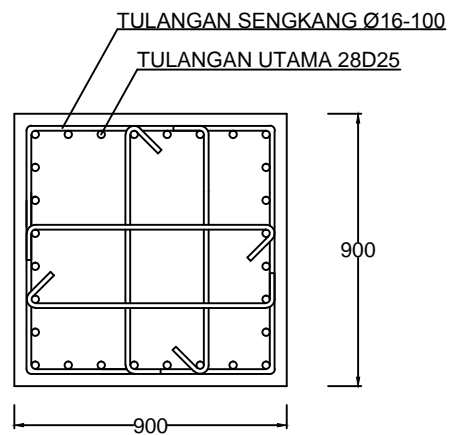
Detail Sambungan Balok B15 dan Balok BA1
Skala 1:25



Detail Sambungan Balok B15 dan Balok BA1
Skala 1:25



Detail Sambungan Balok BI5 dan Kolom K1
Skala 1:25



Potongan A-A
Skala 1:25



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG RUMAH SAKIT UMUM
DAERAH (RSUD) KOJA JAKARTA
DENGAN METODE PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Trie Sony Kusumowibowo

GAMBAR

SAMBUNGAN BALOK INDUK
DAN KOLOM

SKALA

1:25

NO. LEMBAR

JUMLAH LEMBAR

22

30

CATATAN



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG RUMAH SAKIT UMUM
DAERAH (RSUD) KOJA JAKARTA
DENGAN METODE PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Trie Sony Kusumowibowo

GAMBAR

SAMBUNGAN BALOK INDUK
DAN KOLOM

SKALA

1:25

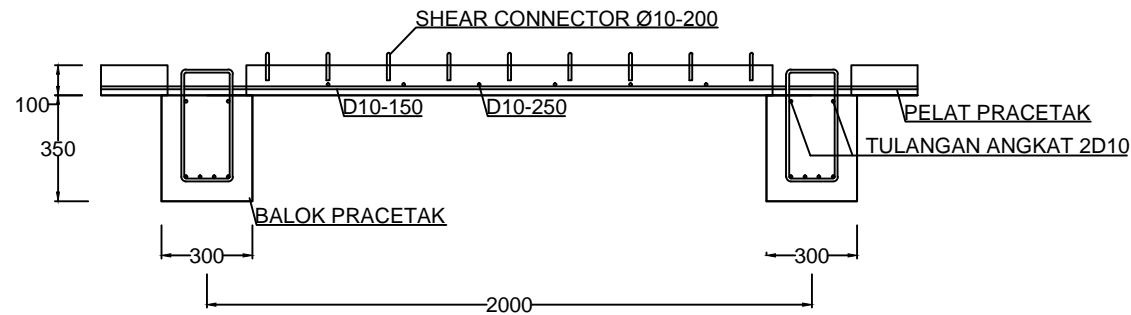
NO. LEMBAR

JUMLAH LEMBAR

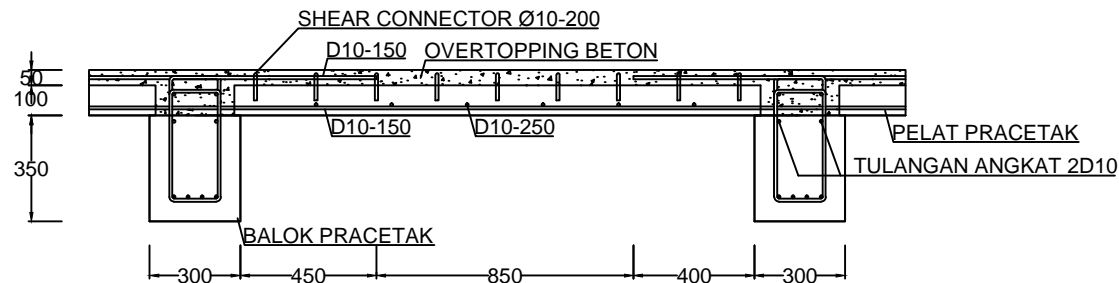
23

30

CATATAN



Detail Sambungan Balok BA1 dan Pelat P1 Sebelum Komposit
Skala 1:25



Detail Sambungan Balok BA1 dan Pelat P1 Setelah Komposit
Skala 1:25



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG RUMAH SAKIT UMUM
DAERAH (RSUD) KOJA JAKARTA
DENGAN METODE PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Trie Sony Kusumowibowo

GAMBAR

DENAH PONDASI

SKALA

1:250

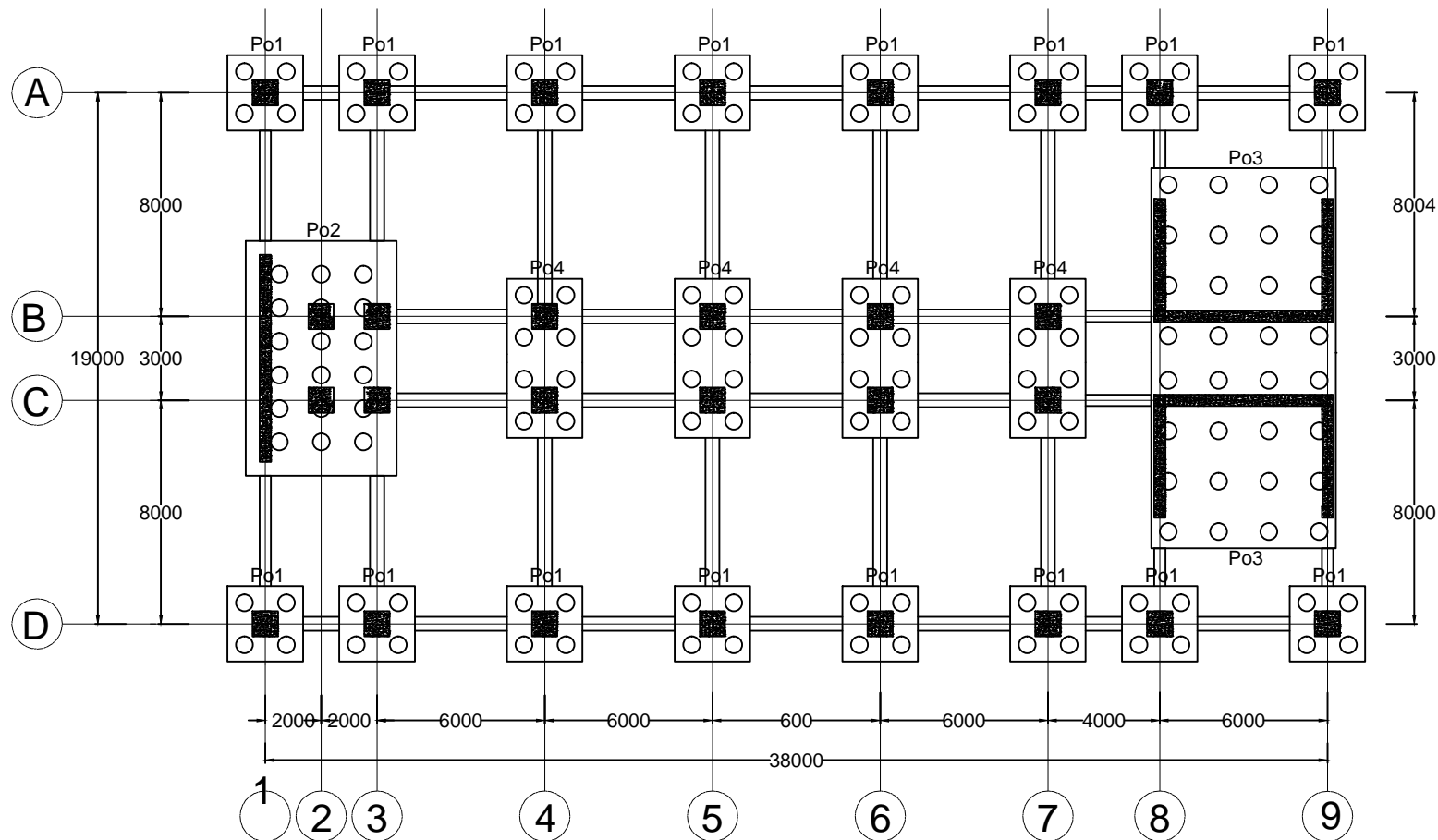
NO. LEMBAR

24

JUMLAH LEMBAR

30

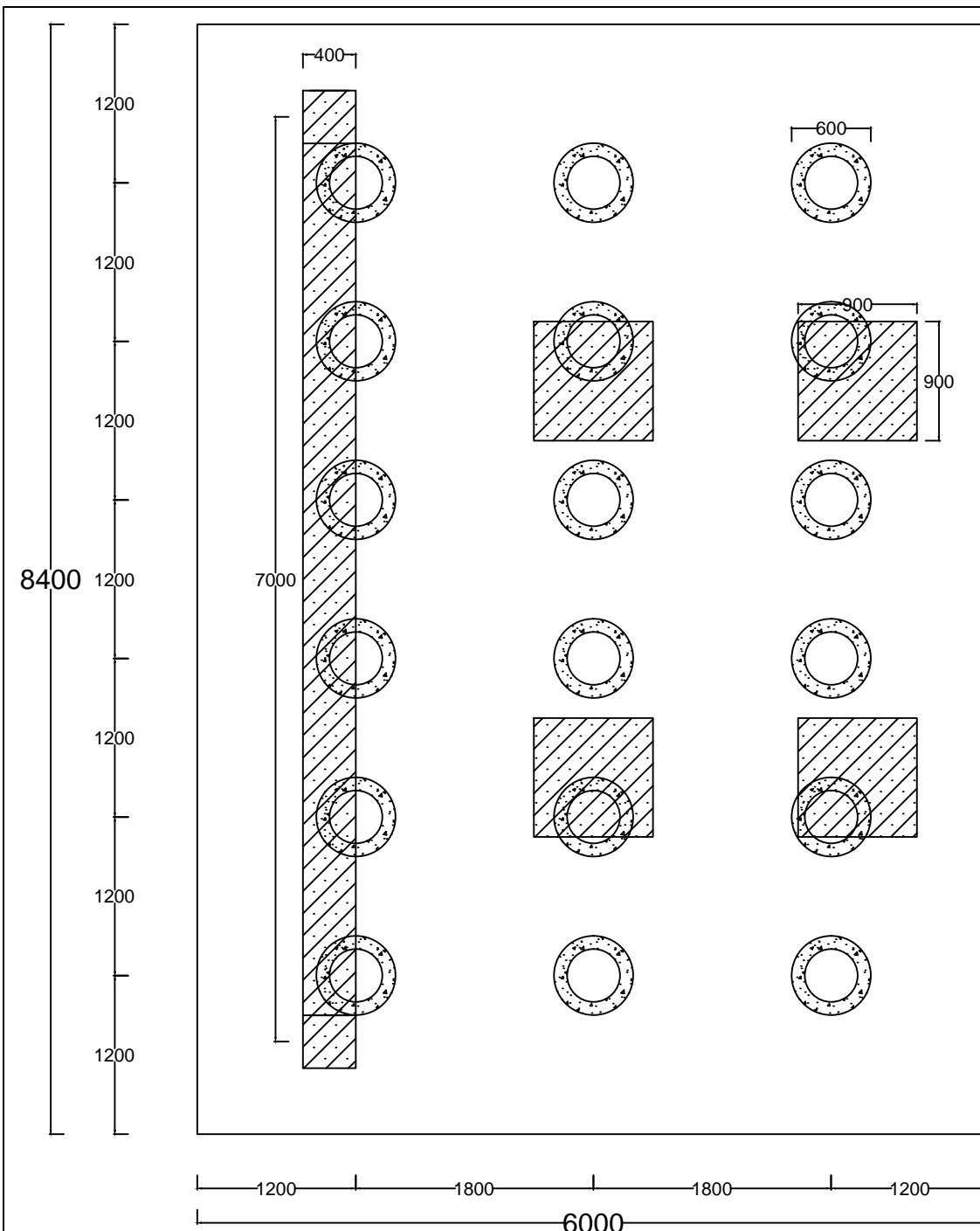
CATATAN



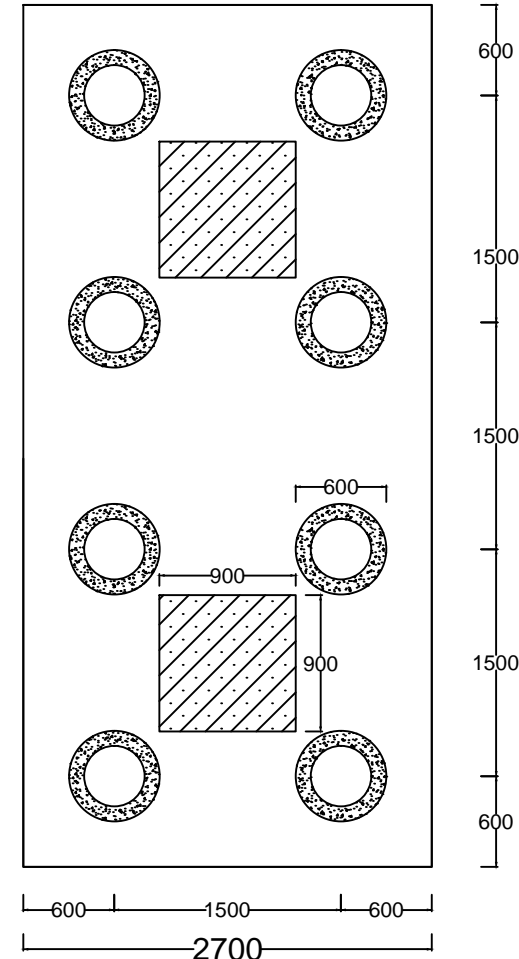
Denah Pondasi
Skala 1:250

Tabel Pondasi

No.	Tipe Pondasi	Tiang Pancang	Tebal (mm)
1	Po1	4D600	1100
2	Po2	16D600	1100
3	Po3	16D600	1100




Konfigurasi Tata Letak Tiang Pancang Po2
 Skala 1:50




Konfigurasi Tata Letak Tiang Pancang Po4
 Skala 1:50



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG RUMAH SAKIT UMUM
DAERAH (RSUD) KOJA JAKARTA
DENGAN METODE PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Trie Sony Kusumowibowo

GAMBAR

KONFIGURASI TATA LETAK
TIANG PANCANG Po1 & Po4

SKALA

1:50

NO. LEMBAR

JUMLAH LEMBAR

25

30

CATATAN



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

**MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG RUMAH SAKIT UMUM
DAERAH (RSUD) KOJA JAKARTA
DENGAN METODE PRACETAK**

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Trie Sony Kusumowibowo

GAMBAR

KONFIGURASI TATA LETAK
TIANG PANCANG Po3

SKALA

1:100

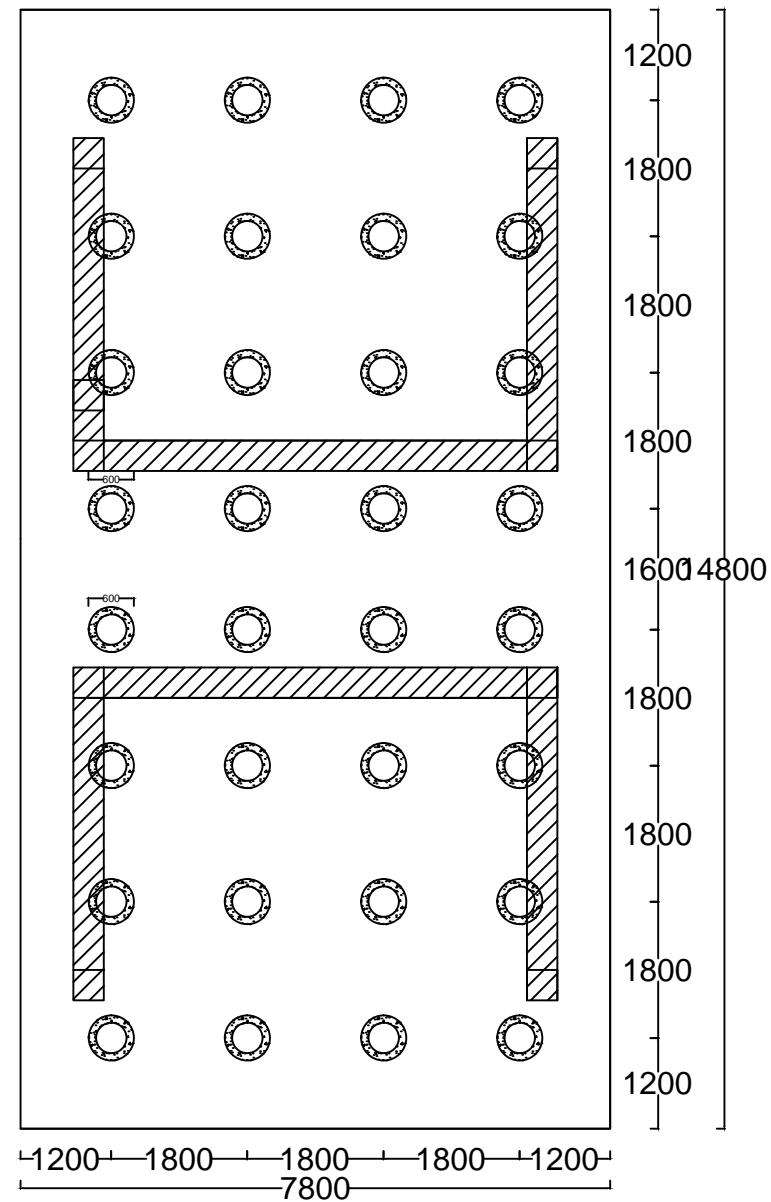
NO. LEMBAR

26

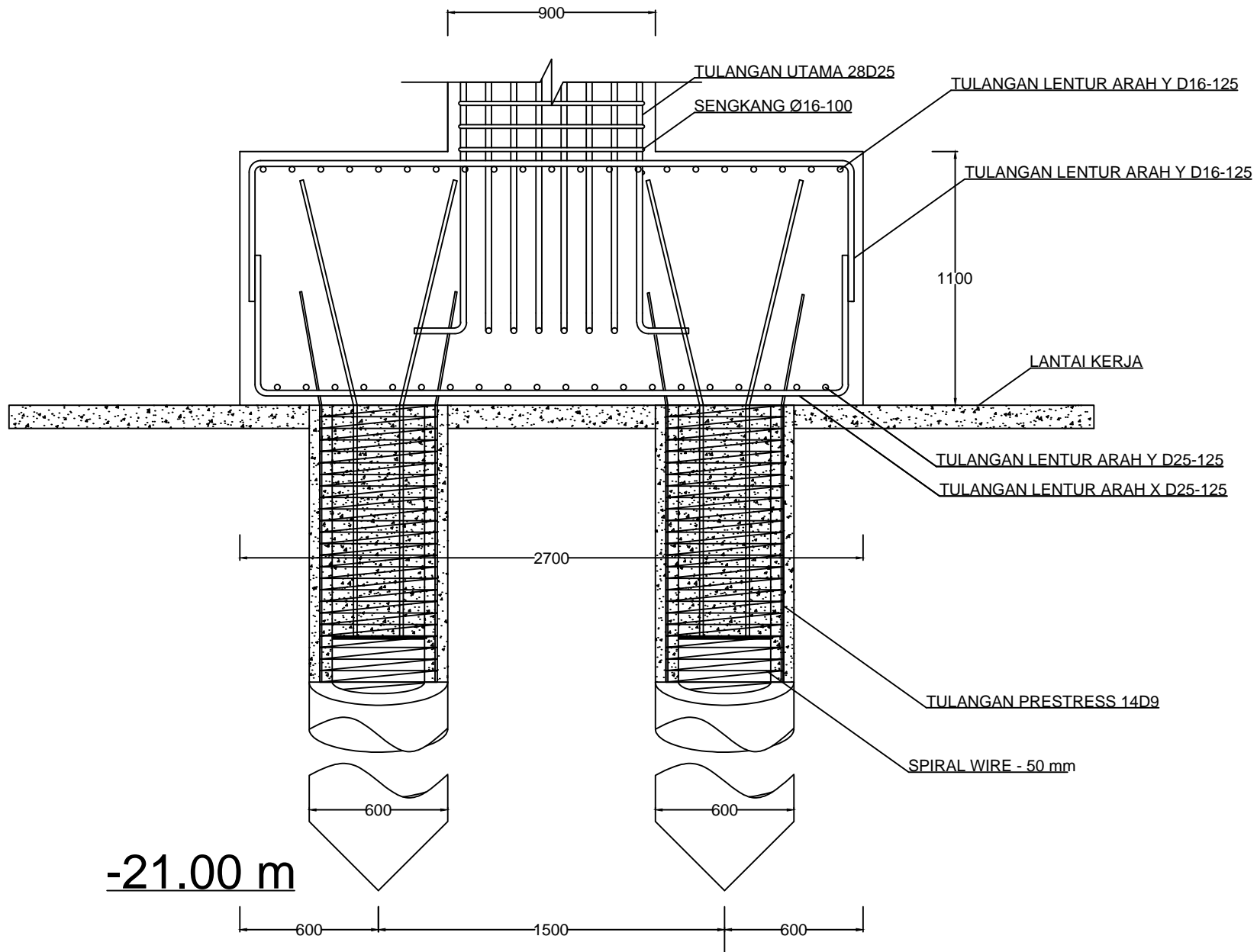
JUMLAH LEMBAR

30

CATATAN



Konfigurasi Tata Letak Tiang Pancang Po3
Skala 1:100



Detail Potongan Poer Po1
Skala 1:25



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG RUMAH SAKIT UMUM
DAERAH (RSUD) KOJA JAKARTA
DENGAN METODE PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Trie Sony Kusumowibowo

GAMBAR

DETAIL POTONGAN POER Po1

SKALA

1:25

NO. LEMBAR

27

JUMLAH LEMBAR

30

CATATAN



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG RUMAH SAKIT UMUM
DAERAH (RSUD) KOJA JAKARTA
DENGAN METODE PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Trie Sony Kusumowibowo

GAMBAR

DETAIL POTONGAN POER Po2

SKALA

1:50

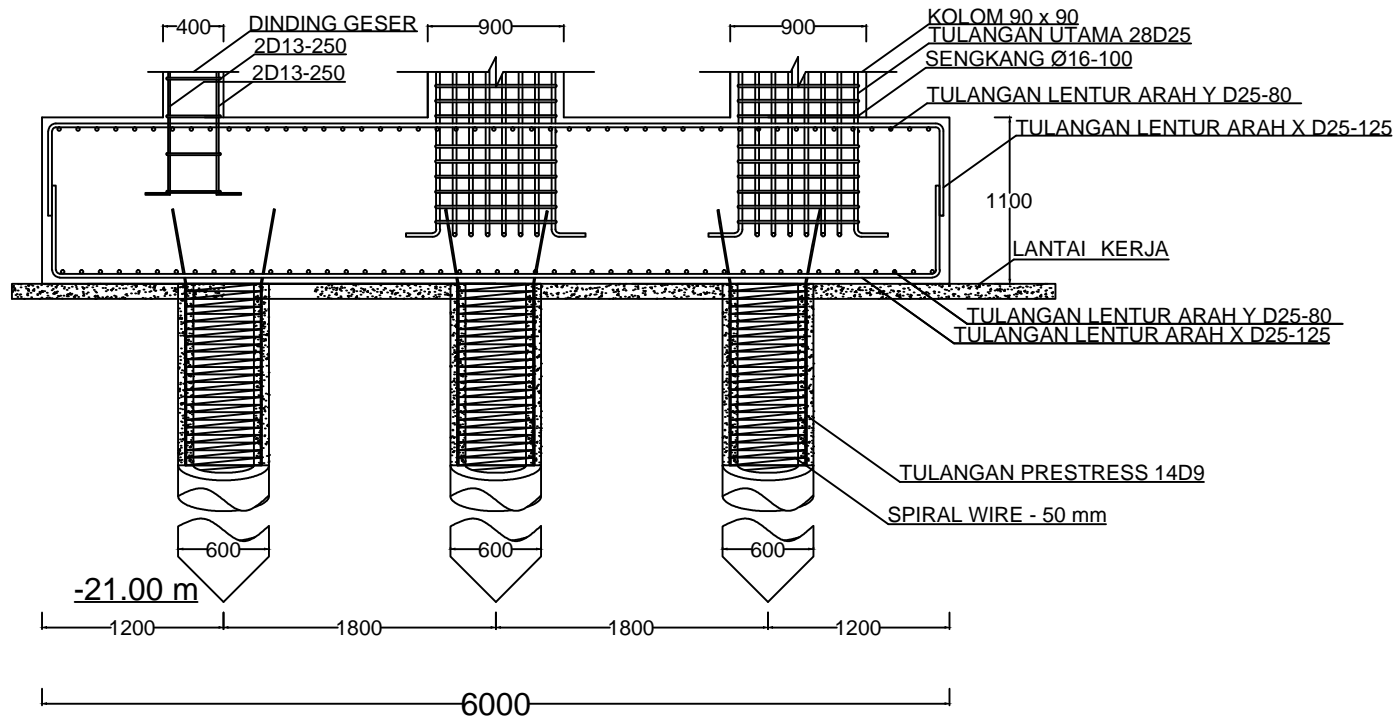
NO. LEMBAR

JUMLAH LEMBAR

28

30

CATATAN



Detail Potongan Poer Po2
Skala 1:50



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG RUMAH SAKIT UMUM
DAERAH (RSUD) KOJA JAKARTA
DENGAN METODE PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Trie Sony Kusumowibowo

GAMBAR

DETAIL POTONGAN POER Po3

SKALA

1:50

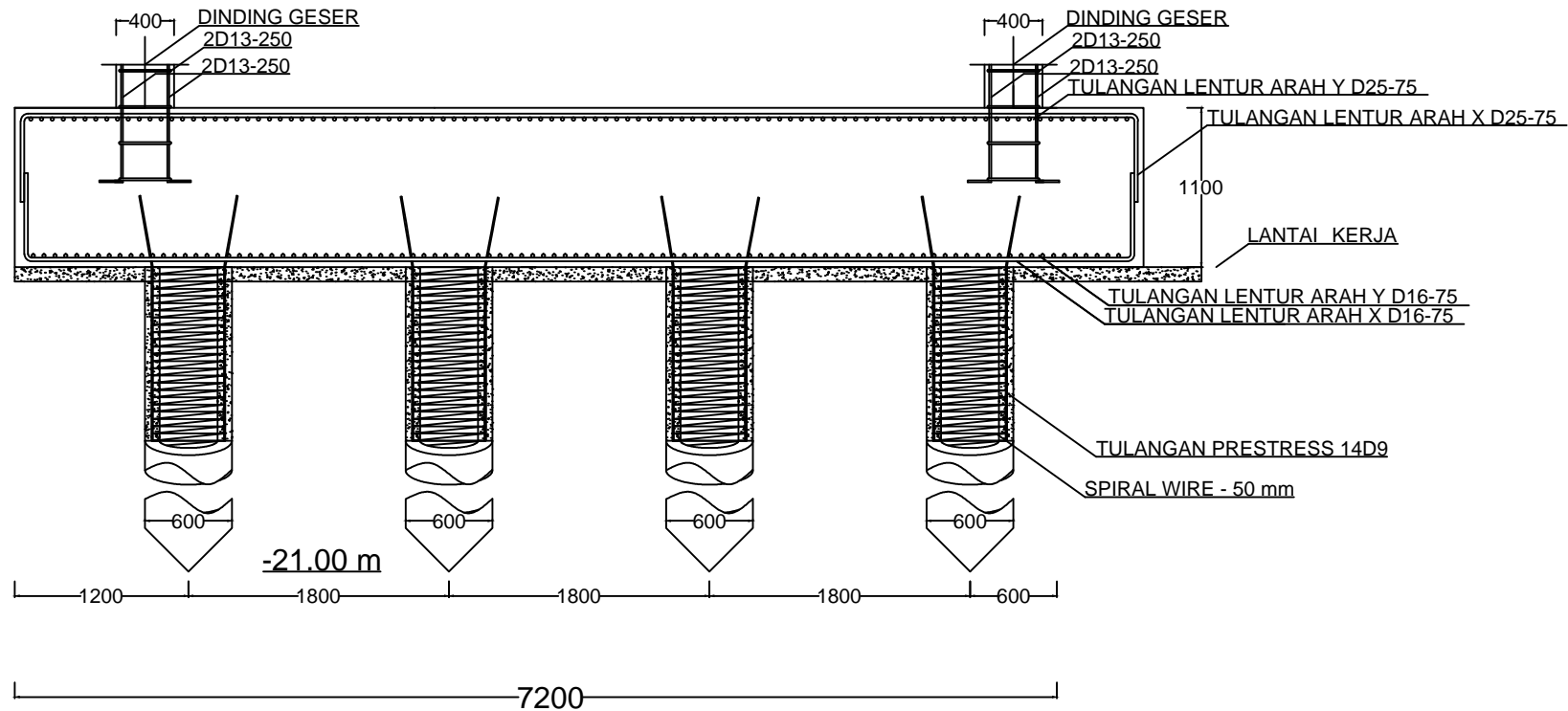
NO. LEMBAR

JUMLAH LEMBAR

29

30

CATATAN



Detail Potongan Poer Po3
Skala 1:25



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG RUMAH SAKIT UMUM
DAERAH (RSUD) KOJA JAKARTA
DENGAN METODE PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, ST. M.Sc. Ph.D.

MAHASISWA

Trie Sony Kusumowibowo

GAMBAR

DETAIL HUBUNGAN SLOOF
DAN POER

SKALA

1:50

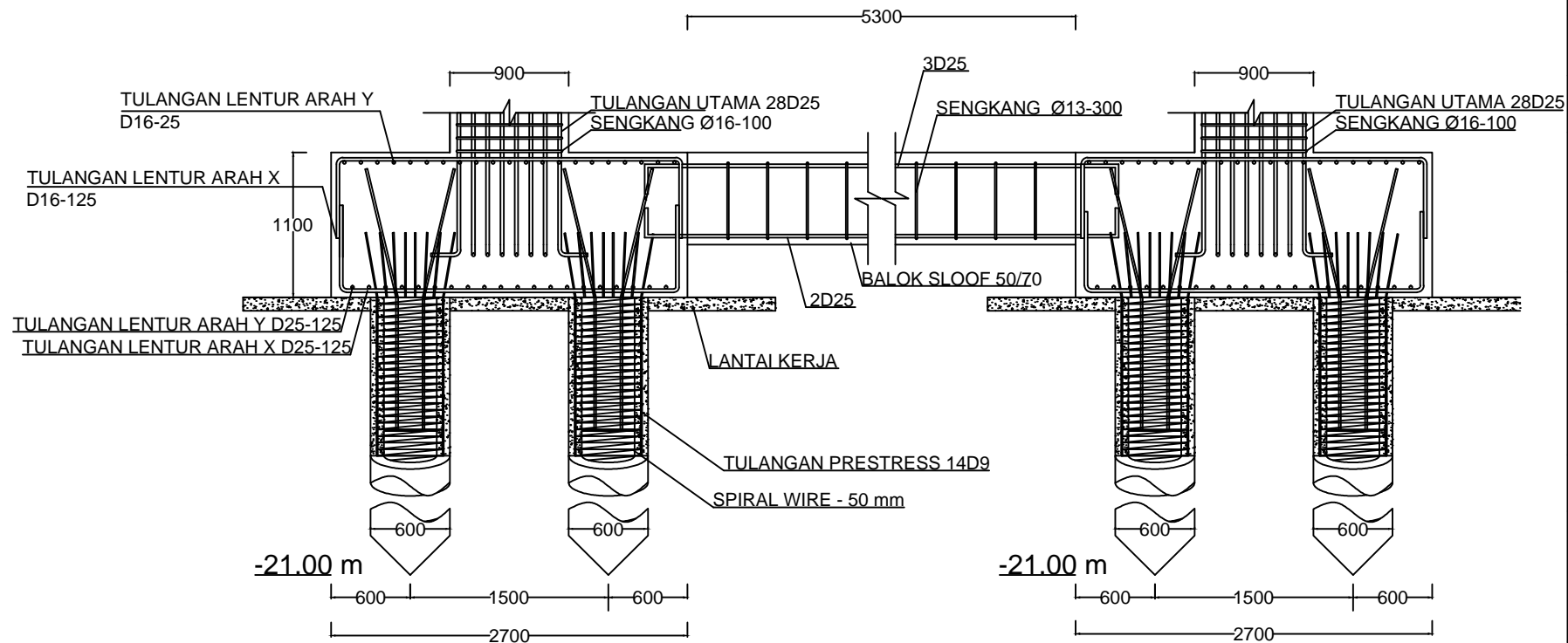
NO. LEMBAR

JUMLAH LEMBAR

30

30

CATATAN

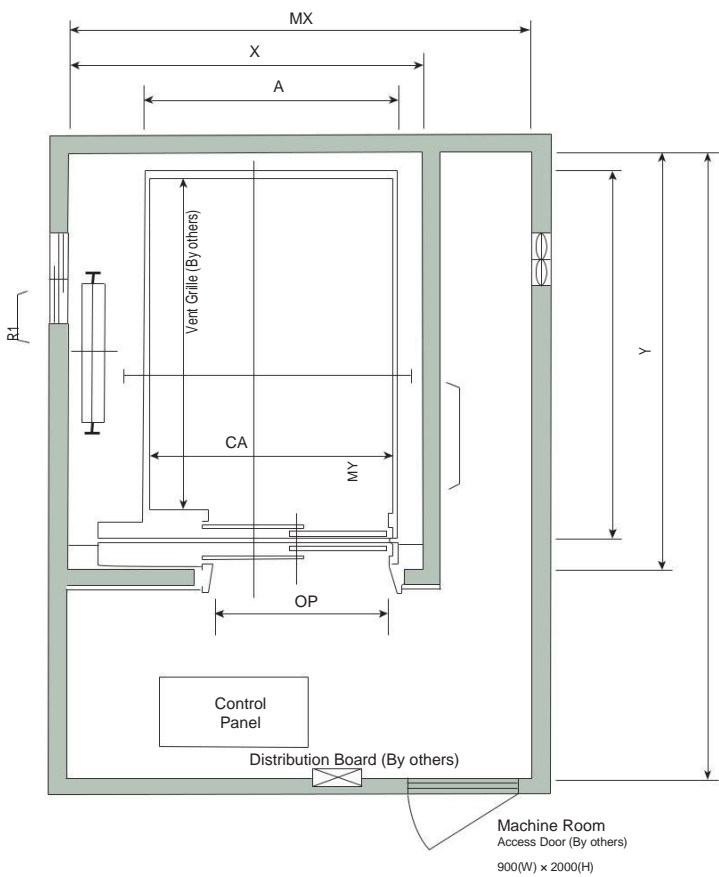


Detail Hubungan Sloof dengan Poer Po1
Skala 1:50

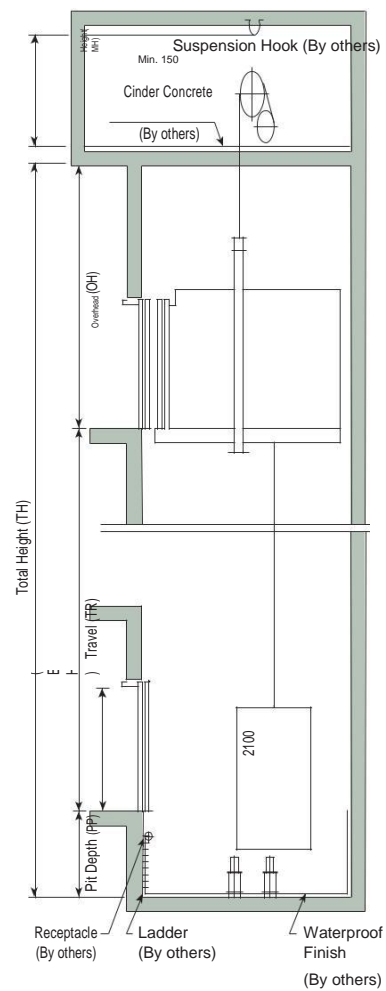
Installation Layout Plan

General Traction Type

Plan of Hoistway & Machine Room



Section of Hoistway



Standard Dimensions & Reactions

(Unit : mm)

Type	Model	Clear Opening OP	Car		Hoistway X Y	M/C Room		M/C Room Reaction(kg)	
			Internal CA CB	External A B		MX MY		R1	R2
Standard Type	B1350-2S30, 45 B1600-2S30, 45 B1350-2S60	1100	1300 2300	1400 2507	2100 2850	2300 3500		10500	8500
	B1600-2S60	1200	1500 2300	1600 2507	2300 2850	2750 4000		11500	9500
	B1750-2S30~60	1200	1600 2300	1700 2507	2400 2850	2850 4000			
	B1350-2SD30, 45 B1350-2SD60	1100	1300 2300	1400 2634	2300 3000	2300 3500		10500	8500
Double Entrance Type	B1600-2SD30, 45 B1600-2SD60	1200	1500 2300	1600 2634	2500 3000	2750 4000		11500	9500
	B1750-2SD30~60	1200	1600 2300	1700 2634	2600 3000	2850 4000			

- Notes :
- When non-standard capacities and dimensions are required, consult Hyundai.
 - Above dimension are applied in case the door is standard. In case fire protection door is applied, hoistway size for 1 car should be applied above X dimension plus 100mm.
 - Consult Hyundai in case the code applied.

(Unit : mm)

Speed (m/min)	Overhead (OH)	Pit (PP)	M/C Room Height (MH)
30/45	4400	1200	2400
60	4600	1500	
90	4800	1800	
105	5000	2100	

- Notes :
- Above is minimum size.
 - In case of special hoistway, machine room height may be higher than above size.
 - The minimum machine room height should be 2800mm in case of the traction machine with double isolation pad.

BORING LOG & SPT DIAGRAM

PROJECT : GEDUNG APARTMENT 23 LANTAI & 3 BASEMENT
LOCATION : JL. TEBET DALAM IV - JAKARTA SELATAN
HOLE : DB IV
DATE of TEST : 09 - 12 APRIL 2008

[illegible]



PROPERTIES OF ICP PILES

GRADE 80 PILES

CLASS A (EFFECTIVE PRESTRESS ≥ 4.0 N/mm²)

Nominal Diameter	Nominal Thickness	Length	Nominal Weight	Prestressing Bar			Area of Concrete	Section Modulus	Bending Moment		Recommended Max Structural Axial Working Load (For a short strut)	Effective Prestress
				7.1mm	9.0mm	10.7mm			Cracking	Ultimate		
mm	mm	m	kg/m	no.	no.	no.	mm ²	x1000 mm ³	kNm	kNm	ton	N/mm ²
300	60	6-12	118	6	-	-	45,239	2,373	21.3	34.8	87	4.9
350	60	6-12	142	8	-	-	54,664	3,533	32.9	54.1	104	5.3
400	65	6-12	178	8	-	-	68,408	5,106	42.7	61.8	132	4.3
450	70	6-12	217	10	-	-	83,566	7,113	60.4	86.9	161	4.5
500	80	6-12	274	12	-	-	105,558	9,888	82.3	115.9	204	4.3
600	90	6-12	375	-	12	-	144,199	16,586	148.8	222.5	276	5.0

CLASS B (EFFECTIVE PRESTRESS ≥ 5.0 N/mm²)

Nominal Diameter	Nominal Thickness	Length	Nominal Weight	Prestressing Bar			Area of Concrete	Section Modulus	Bending Moment		Recommended Max Structural Axial Working Load (For a short strut)	Effective Prestress
				7.1mm	9.0mm	10.7mm			Cracking	Ultimate		
mm	mm	m	kg/m	no.	no.	no.	mm ²	x1000 mm ³	kNm	kNm	ton	N/mm ²
250	55	6-12	88	6	-	-	33,694	1,435	14.9	29.0	63	6.4
300	60	6-12	118	7	-	-	45,239	2,383	22.9	40.6	86	5.6
350	70	6-12	160	9	-	-	61,575	3,778	35.6	60.8	117	5.4
400	80	6-15	209	12	-	-	80,425	5,643	53.7	92.7	153	5.5
450	80	6-15	242	-	8	-	92,991	7,624	70.0	111.2	177	5.2
500	90	6-15	301	-	10	-	115,925	10,518	95.9	154.5	221	5.1
600	100	6-15	408	-	14	-	157,080	17,546	163.1	259.6	299	5.3
700	110	6-18	530	-	20	-	203,889	27,131	265.1	432.6	386	5.8
800	120	6-18	667	-	24	-	256,354	39,455	376.8	593.3	487	5.5
900	130	6-18	818	-	28	-	314,473	54,942	510.3	778.7	599	5.3
1000	140	6-18	983	-	-	24	378,248	74,056	688.9	1042.8	720	5.3
1200	150	6-18	1286	-	-	36	494,801	120,188	1198.5	1877.1	934	6.0

CLASS C (EFFECTIVE PRESTRESS ≥ 7.0 N/mm²)

Nominal Diameter	Nominal Thickness	Length	Nominal Weight	Prestressing Bar				Area of Concrete	Section Modulus	Bending Moment		Recommended Max Structural Axial Working Load (For a short strut)	Effective Prestress
				7.1mm	9.0mm	10.7mm	12.6mm			Cracking	Ultimate		
mm	mm	m	kg/m	no.	no.	no.	no.	mm ²	x1000 mm ³	kNm	kNm	ton	N/mm ²
250	55	6-12	88	7	-	-	-	33,694	1,443	16.2	33.8	63	7.2
300	60	6-12	118	10	-	-	-	45,239	2,416	28.0	57.9	84	7.6
350	70	6-15	160	-	8	-	-	61,575	3,826	43.0	86.5	114	7.2
400	80	6-15	209	-	12	-	-	80,425	5,748	69.7	148.3	147	8.1
450	80	6-15	242	-	12	-	-	92,991	7,734	86.9	166.9	173	7.2
500	90	6-18	301	-	15	-	-	115,925	10,670	120.3	231.7	215	7.3
600	100	6-30	408	-	-	14	-	157,080	17,761	196.4	365.0	292	7.0
700	110	6-46	530	-	-	20	-	203,889	27,498	320.6	608.3	376	7.6
800	120	6-46	667	-	-	24	-	256,354	39,966	454.7	834.3	475	7.4
900	130	6-46	818	-	-	28	-	314,473	55,622	617.7	1095.0	584	7.1
1000	140	6-46	983	-	-	36	-	378,248	75,188	864.5	1564.3	699	7.5
1200	150	6-36	1286	-	-	46	-	494,801	121,361	1378.6	2398.6	916	7.3
1000	140	6-46	983	-	-	-	34	378,248	76,247	961.1	2051.9	688	8.6
1200	150	6-36	1286	-	-	-	46	494,801	123,457	1583.1	3331.3	898	8.8

CLASS A (EFFECTIVE PRESTRESS ≥ 4.0 N/mm²)

Nominal Diameter	Nominal Thickness	Length	Nominal Weight	Prestressing Bar			Area of Concrete	Section Modulus	Bending Moment		Recommended Max Structural Axial Working Load (For a short strut)	Effective Prestress
				7.1mm	9.0mm	10.7mm			Cracking	Ultimate		
mm	mm	m	kg/m	no.	no.	no.	mm ²	x1000 mm ³	kNm	kNm	ton	N/mm ²
300	60	6-12	118	6	-	-	45,239	2,373	21.9	34.8	98	4.9
350	60	6-12	142	8	-	-	54,664	3,533	33.8	54.1	118	5.3
400	65	6-12	178	8	-	-	68,408	5,106	43.9	61.8	149	4.3
450	70	6-12	217	10	-	-	83,566	7,113	62.2	86.9	182	4.5
500	80	6-12	274	12	-	-	105,558	9,888	84.8	115.9	231	4.3
600	90	6-12	375	-	12	-	144,199	16,586	152.9	222.5	313	5.0

CLASS B (EFFECTIVE PRESTRESS ≥ 5.0 N/mm²)

Nominal Diameter	Nominal Thickness	Length	Nominal Weight	Prestressing Bar			Area of Concrete	Section Modulus	Bending Moment		Recommended Max Structural Axial Working Load (For a short strut)	Effective Prestress
				7.1mm	9.0mm	10.7mm			Cracking	Ultimate		
mm	mm	m	kg/m	no.	no.	no.	mm ²	x1000 mm ³	kNm	kNm	ton	N/mm ²
250	55	6-12	88	6	-	-	33,694	1,435	15.3	29.0	72	6.4
300	60	6-12	118	7	-	-	45,239	2,383	23.5	40.6	97	5.6
350	70	6-12	160	9	-	-	61,575	3,778	36.5	60.8	133	5.4
400	80	6-15	209	12	-	-	80,425	5,643	55.0	92.7	173	5.5
450	80	6-15	242	-	8	-	92,991	7,624	71.9	111.2	201	5.2
500	90	6-15	301	-	10	-	115,925	10,518	98.5	154.5	251	5.1
600	100	6-15	408	-	14	-	157,080	17,546	167.3	259.6	339	5.3

FORMULA FOR AXIAL LOAD

Based on BS 8004: 1986, the maximum allowable axial stress that may be applied to a pile acting as a short strut should be one quarter of (specified works cube strength at 28 days less the prestress after losses)

$$N = f_{ca} \times A$$

$$= 1/4 (f_{cu} - f_{pe}) \times A$$

Where, N = maximum allowable axial load

A = cross section area of concrete

f_{ca} = permissible compressive strength of concrete

f_{cu} = specified compressive strength of concrete

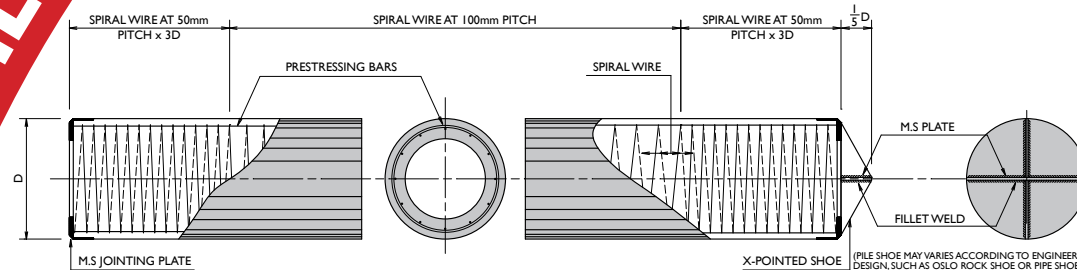
f_{pe} = effective prestress in concrete

(Subject to change without prior notice)

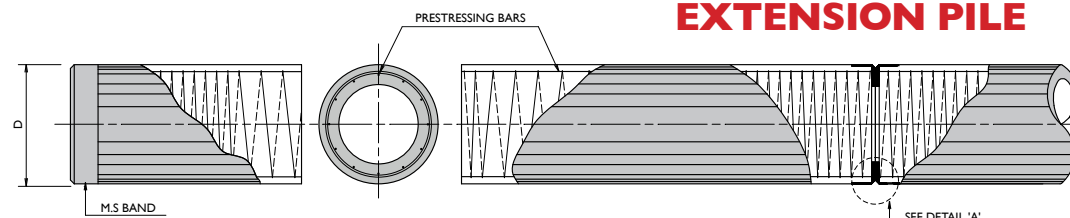
GRADE 90 PILES

SECTIONAL DETAILS OF ICP PILES

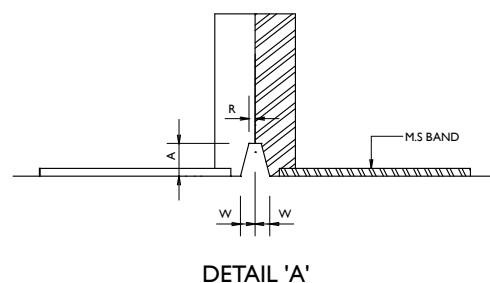
STARTER PILE



EXTENSION PILE



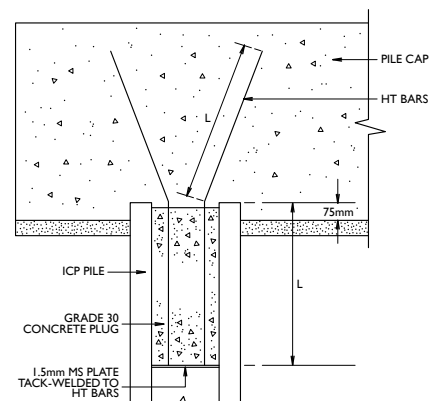
JOINT WELDING DETAILS



Dia Of Pile D mm	Throat Thickness A mm	W mm	Root R mm
250	8.5	4.0	2.0
300	8.5	4.0	2.0
350	8.5	4.0	2.0
400	10	4.5	2.0
450	10	4.5	2.0
500	12	5.0	2.0
600	12	5.0	2.0
700	14	6.0	2.0
800	14	6.0	2.0
900	14	6.0	2.0
1000	14	6.0	2.0
1200	14	6.0	2.0

BONDING ICP PILES INTO PILE CAP

Dia Of Pile mm	Quantity	HT Bars	
		Dia. mm	L mm
250	4	12	500
300	4	12	500
350	5	12	550
400	5	12	700
450	5	16	800
500	6	16	900
600	8	16	1000
700	8	20	1200
800	8	20	1400
900	10	25	1500
1000	12	25	1500
1200	20	25	2000



As the PC bars are bonded with concrete, ICP Piles may be cut off at any point. The piles need not be stripped down to expose the bars and can be bonded to the pile cap as shown in the above sketch. If the piles are not subjected to tensile loads, the recommended H.T. bars are considered adequate.



CAGE MAKING/ MOULD SETTING

PC bars in coil form are straightened and cut to correct lengths. The ends are warm-headed to form button heads. The bars are passed through the cage forming machine where spiral wire is automatically spot-welded at the correct spacings. End plates are fitted to the cage. The whole cage is then placed onto the bottom half mould.



CONCRETE FEEDING

Concrete from the computerised batching plant is discharged into a feeding hopper. Concrete is then fed into the bottom half mould. The top half mould is then bolted to the bottom half.



STRESSING

The PC bars are stressed against the mould through a central shaft and stressing plate. The stressing is being carried out in a single operation. This ensures uniformity of stress in all the PC bars and hence straightness of the pile.



PILE SPINNING

The pile is then compacted by the centrifugal spinning machine. Spinning process squeezes out excess water, thus increases the concrete strength.



STEAM CURING

The pile is sent to the steam tank for rapid curing process in order to achieve the required transfer strength for early demoulding.



DEMouldING

After demoulding, final QC inspection is carried out according to the specification.

1.1. SPECIFICATIONS

1.1.1. CRANE 18 t

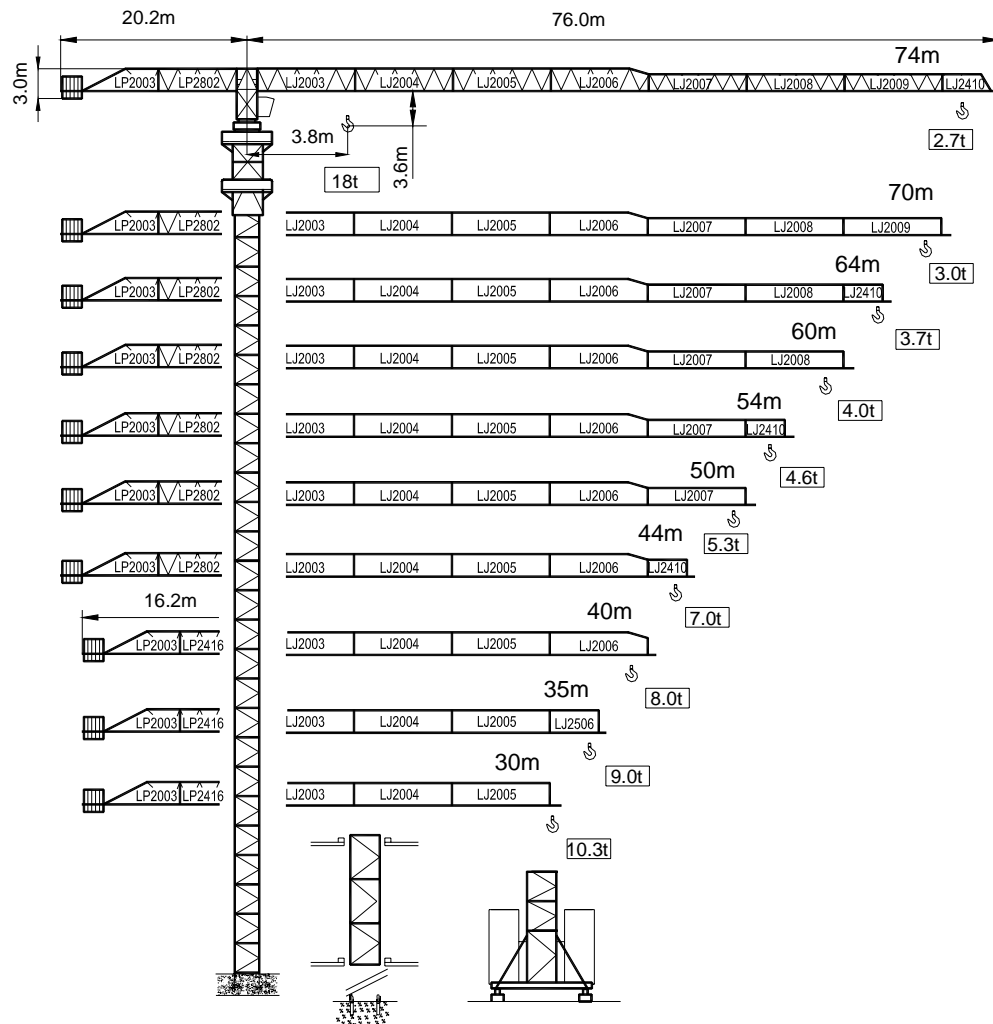
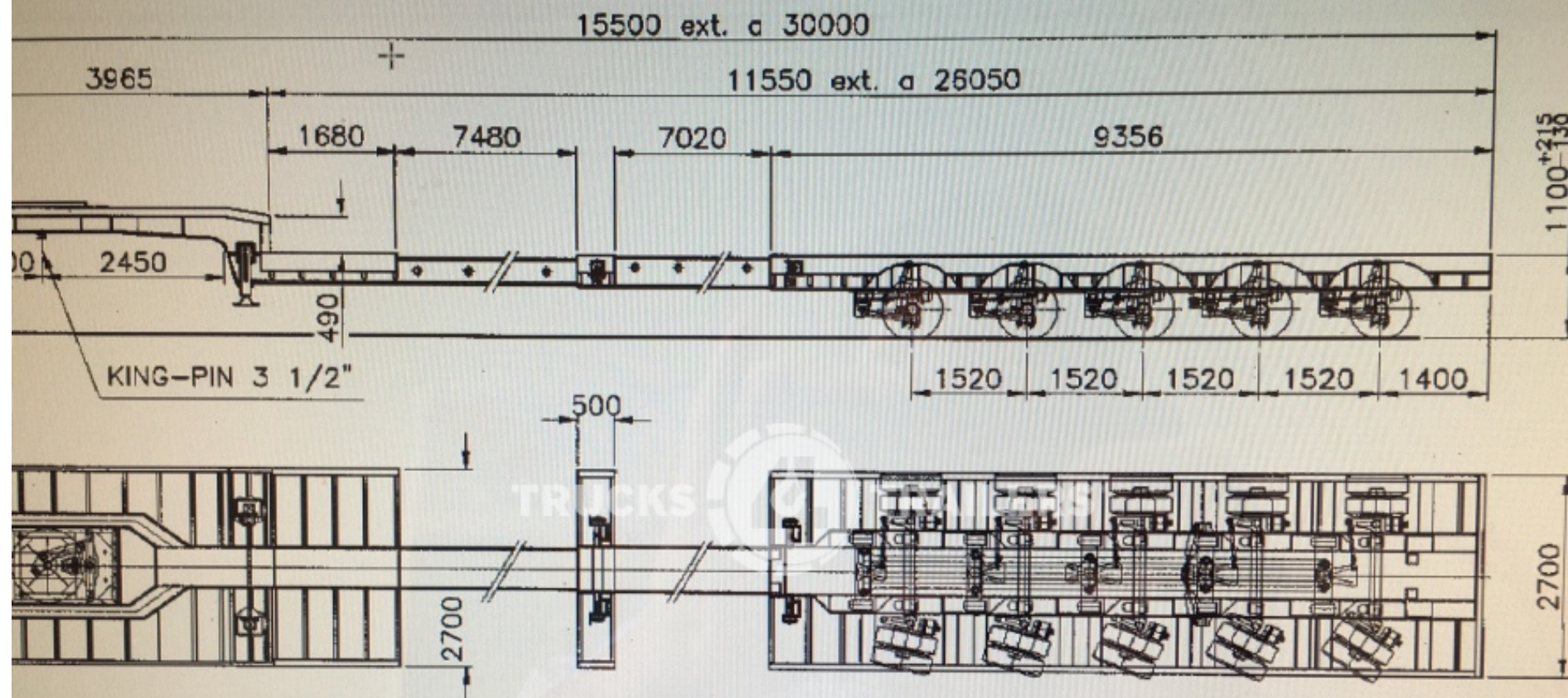


Fig. 1.1.1-1

NOTE:

The mast sections are also available in 5500-mm or standard 3000-mm lengths





NSIÓN HIDRÁULICA.
S DIRECCIONALES DE 15"
BS.
EDAS 245/70-R-17,5"
CONTINENTAL.
100Tm.

CODIGO		MARCA	UNDS.	DENOMINACION	MATERIAL	PESO	OBSERVACIONES
A4	DIBUJADO	COMPROB		INDUSTRIAS Laneko S.A.L	TRAYL-ONA		
FECHA	01-05						
FIRMA	M.B./I.M.A.						
ESCALA	  ISO 9001	GÓNDOLA EXT. 15,5-30m. 5E DIR. S/H			TGEKHD0501A		
L/80					SUSTITUIDO POR:		

BIODATA PENULIS



Trie Sony Kusumowibowo

lahir di Banjarmasin pada tanggal 09 Juni 1994, merupakan anak terakhir dari tiga bersaudara dari pasangan Hartiyoso dan Enny Mahdiany.

Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Muhammadiyah 4 Surabaya (2000-2006), SMPN 6 Surabaya (2006-2009), dan SMAN 5 Surabaya (2009-2012). Penulis melanjutkan pendidikan sarjana di Jurusan Teknik Sipil ITS Surabaya

angkatan 2012 dan terdaftar dengan NRP 3112100050. Beberapa kegiatan yang telah dilakukan penulis semasa kuliah yaitu Staff Ahli Perlengkapan YES Summit 2014, Organizing dan Instructor Comitee HMS 2015-2016. Bagi penulis menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Sipil ITS merupakan suatu kebanggaan tersendiri, dan cita – cita penulis sejak kecil. Penulis dapat dihubungi melalui email triesonyk@gmail.com